

4. トンネル掘削に伴う地下水変化による高標高部の植生への影響と対策

(1) 高標高部の植生への影響に関する考察

1) 概要

- ・令和4年8月2日の第15回リニア中央新幹線静岡工区有識者会議における静岡県からのご説明にあった通り、トンネル掘削に伴う地下水位低下の影響が稜線部にまで及ぶ場合、高山帯のお花畑にも影響を及ぼすのではないかと懸念されています。
- ・そこで、トンネル掘削に伴う地下水位低下による高標高部の植生への影響を分析するため、地形の観点から現地の特徴を捉え、高標高部の稜線部・カール部における現地調査とシミュレーションによるトンネル掘削前後の地表面付近の土壌水分量変化の分析を実施しました。

2) 調査対象箇所とトンネルの位置関係

・調査対象箇所とトンネルとの位置関係や現地の状況を図 4.1、図 4.2、図 4.3 に示します。

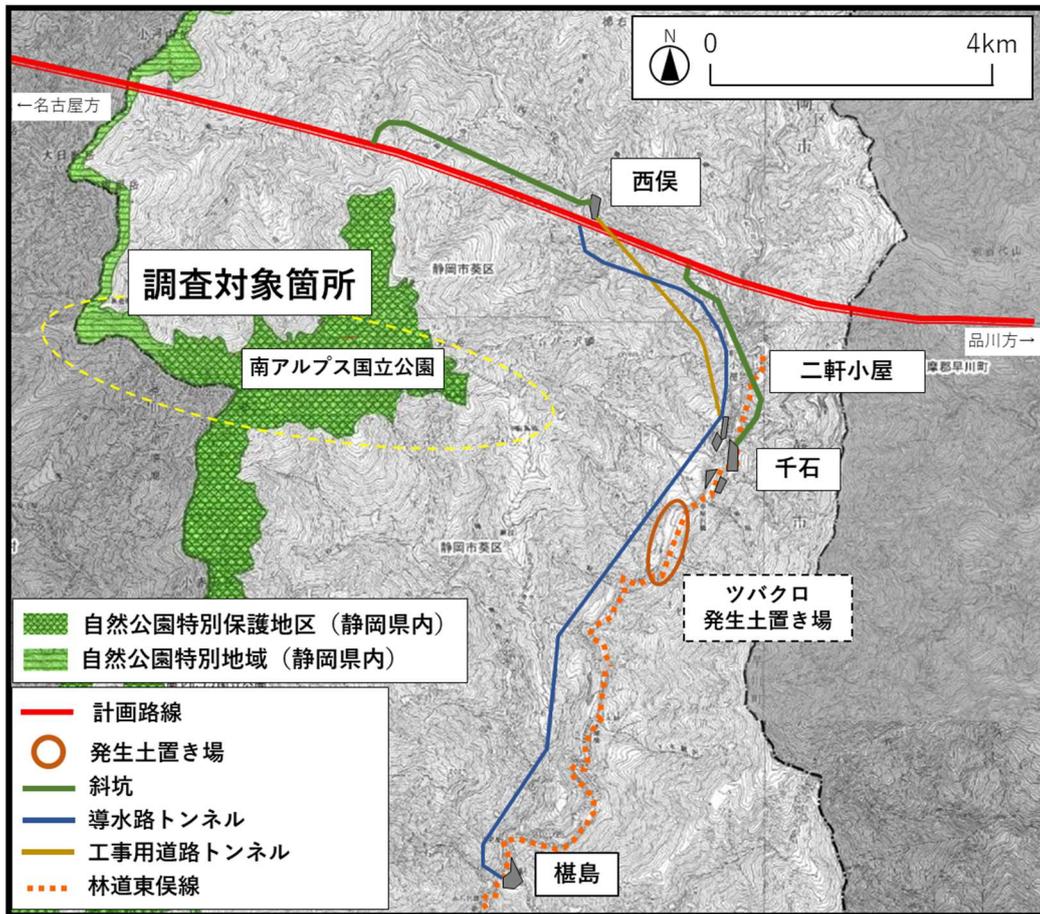


図 4.1 調査対象箇所とトンネルの位置関係（平面図）

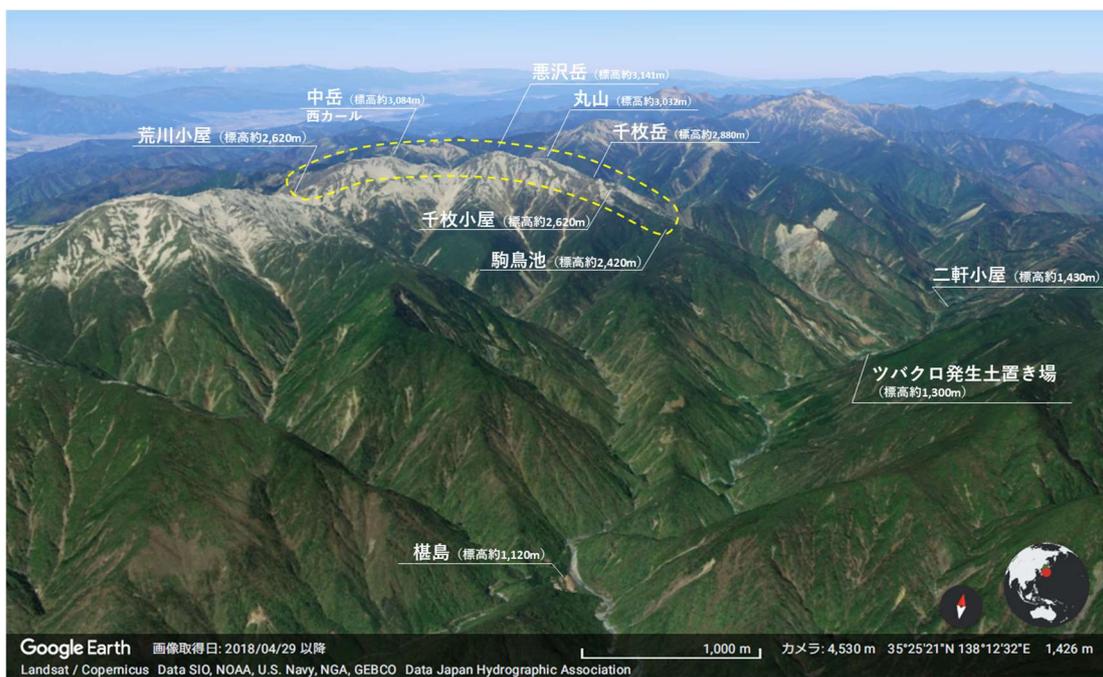


図 4.2 調査対象箇所の状況



荒川岳のお花畑

2022年7月 JR東海撮影



西カール

2022年7月 JR東海撮影



稜線部の状況

2022年7月 JR東海撮影



湧水の状況

2022年7月 JR東海撮影



駒鳥池の状況

2022年7月 JR東海撮影



登山道の様子（悪沢岳山頂付近）

2022年7月 JR東海撮影



登山道の様子（悪沢岳～中岳間）

2022年7月 JR東海撮影

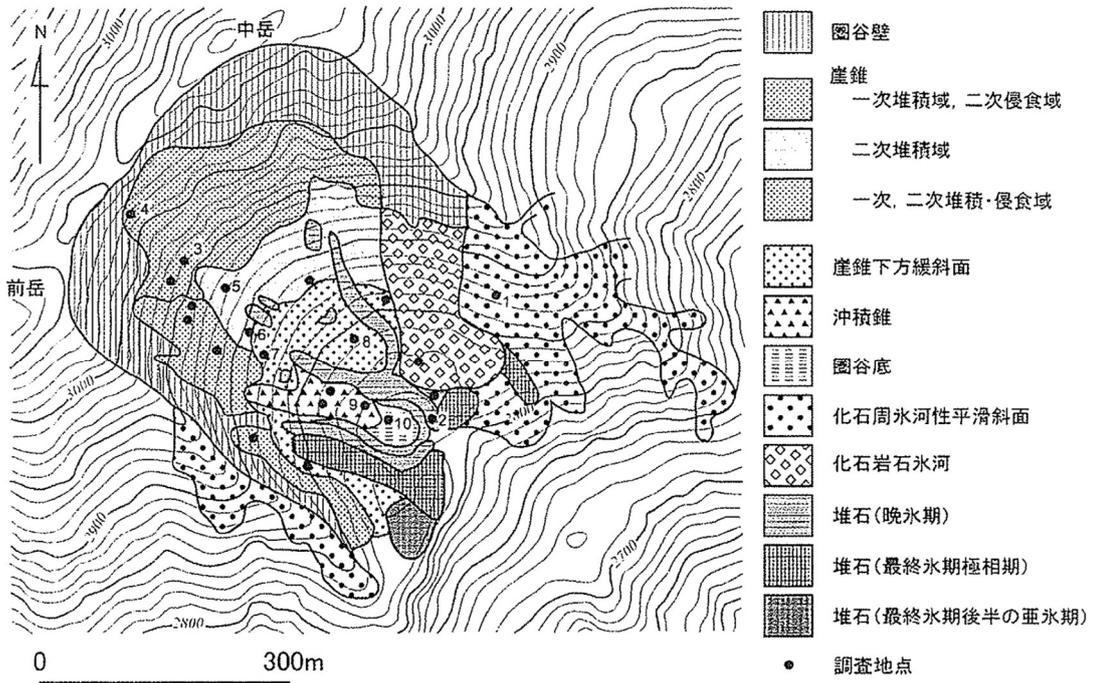


登山道の様子（悪沢岳～中岳間）

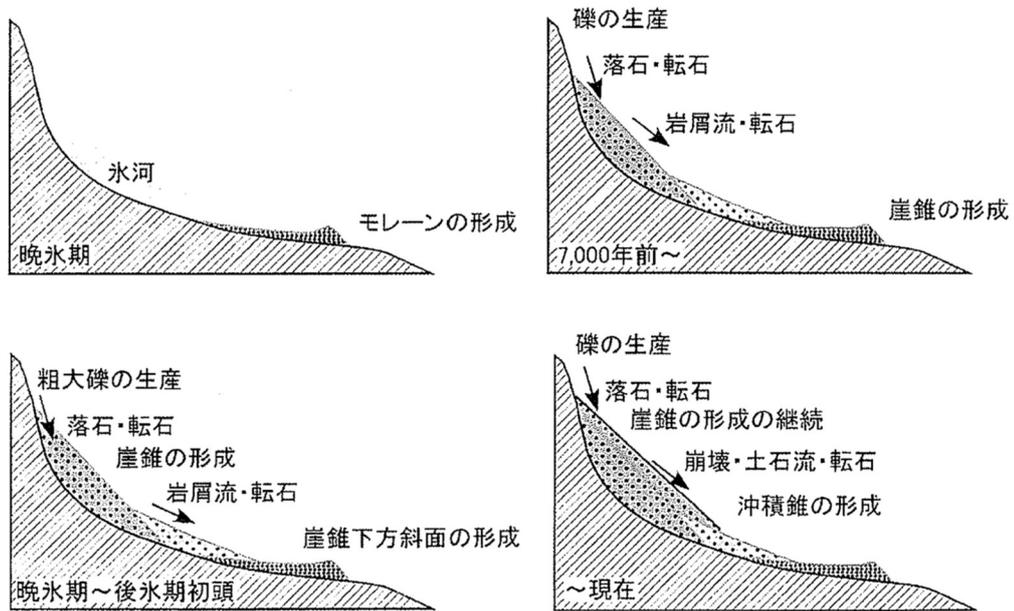
2022年7月 JR東海撮影

図 4.3 調査対象箇所的狀況

・また、文献¹では西カールにおける地形やその形成プロセスの考察がなされています。



荒川前岳南東圈谷の地形学図



崖錐の発達過程の模式断面

図 4.4 カール部の地形の形成プロセス

¹ 南アルプスの自然 P279~290、増沢武弘著、平成 19 年 3 月 30 日、マエダ印刷株式会社

以下、文献引用

- ・氷河が消失後、最終氷期中の永久凍土環境で形成された圏谷壁の節理に沿って粗大な角礫が生産された。
- ・礫は落石や乾燥岩屑流によって斜面下方に運搬され、崖錐が形成され始めた。
- ・崖錐の形成初期に生じた岩屑の二次移動によって、崖錐よりも斜面傾斜の緩い崖錐下方緩斜面が崖錐の下方に形成された。
- ・崖錐の一次堆積域、二次侵食域の大部分では圏谷壁からの岩屑供給が現在も継続しているほか、崩壊と土石流の発生により、崖錐の二次堆積域に細粒物質をもたらしている。
- ・圏谷底の上方では、少なくとも崖錐下方緩斜面の形成後から現在にかけて、崖錐よりもたらせる複数の土石流によって沖積錘が形成されてきたと考えられる。
- ・圏谷底では完新世を通じて残雪の作用が生じてきたと考えられる。圏谷底にみられる残雪砂礫斜面では、ソリフラクションロープ²において凍結融解作用にともなう斜面物質移動が生じているが地表面を微細に修飾しているに過ぎない。

² ソリフラクションロープ：永久凍土や地面の凍結融解の働きでできる舌状の高まり

3) 現地調査とシミュレーションの概要

- ・現地調査は、調査 A：地質・地下水の状況調査、調査 B：地表面付近の土壌水分計測を行いました。
- ・シミュレーションによるトンネル掘削前後の地表面付近の土壌水分量変化の分析は、HYDRUS-1Dを使用し、一次元の不飽和水分移動に関するシミュレーションを行いました。
- ・現地調査、シミュレーションの概要は以下の通りです。

① 調査 A：地質・地下水の状況調査について

- ・調査対象地域の地質や地下水位の状況を確認することを目的とし、資機材を運搬することができ、機械によるボーリング調査が可能である千枚小屋付近において、鉛直下向きのオールコアボーリング（削孔径：φ86.0mm、深さ：約 30m）を実施しました【調査 A-1】。
- ・調査対象地域の地質や含水状況の把握を目的とし、地形の観点から現地の特徴を捉え、標高 3,000m を超える稜線部、カール部において、人力による深度 50cm 程度までの掘削調査【調査 A-2】と電気探査（2 極法電極配置にて、測線長さ 10m、電極間隔 0.2m、測定深度 3m）【調査 A-3】を行いました。

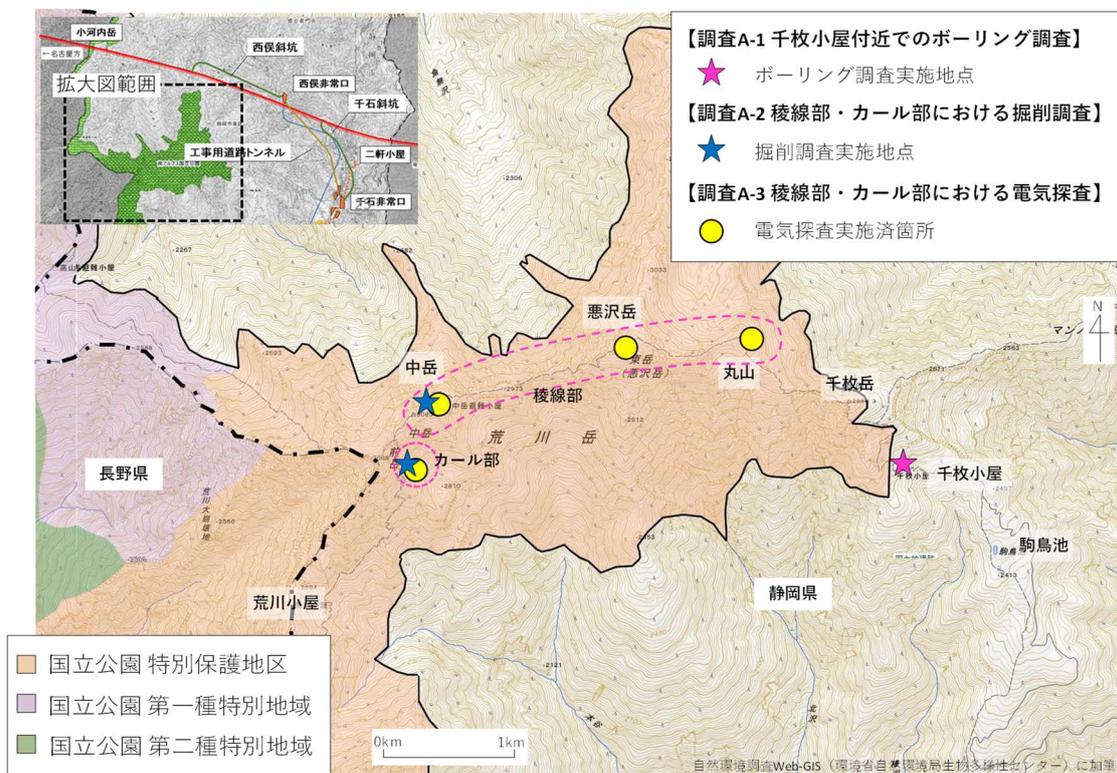


図 4.5 調査箇所平面図（調査 A：地質・地下水の状況調査）



図 4.6 ボーリング調査実施状況（千枚小屋付近）



図 4.7 掘削調査実施箇所の状況（稜線部、掘削前）



図 4.8 掘削調査実施箇所の状況（カール部、掘削前）



図 4.9 電気探査実施箇所の状況（稜線部）



図 4.10 電気探査実施箇所の状況（カール部）

② (参考)調査 B: 地表面付近の土壤水分計測について

- ・実際に植物が生育している箇所の土壤水分を調査し、降水（降雨や雪解け水）との応答を確認することで、表層付近の土壤水分は降水と連動していることを確認することを目的とし、稜線部・カール部において土壤水分や降水量を計測しました。具体的な計測箇所は図 4.11 の通りです。
- ・具体的な計測方法については、土壤中にセンサーを設置し、体積含水率と pF 値³と土壤温度を計測します。体積含水率を計測する土壤水分センサーは METER 社の TEROS-10 を使用し、pF 値と土壤温度を計測する水ポテンシャルセンサーは METER 社の TEROS-21 を使用します（図 4.12）。
- ・計測頻度は、1 時間に 1 回であり、計測されたデータはデータロガーに記録され、現地にてデータ回収を行う方式です。

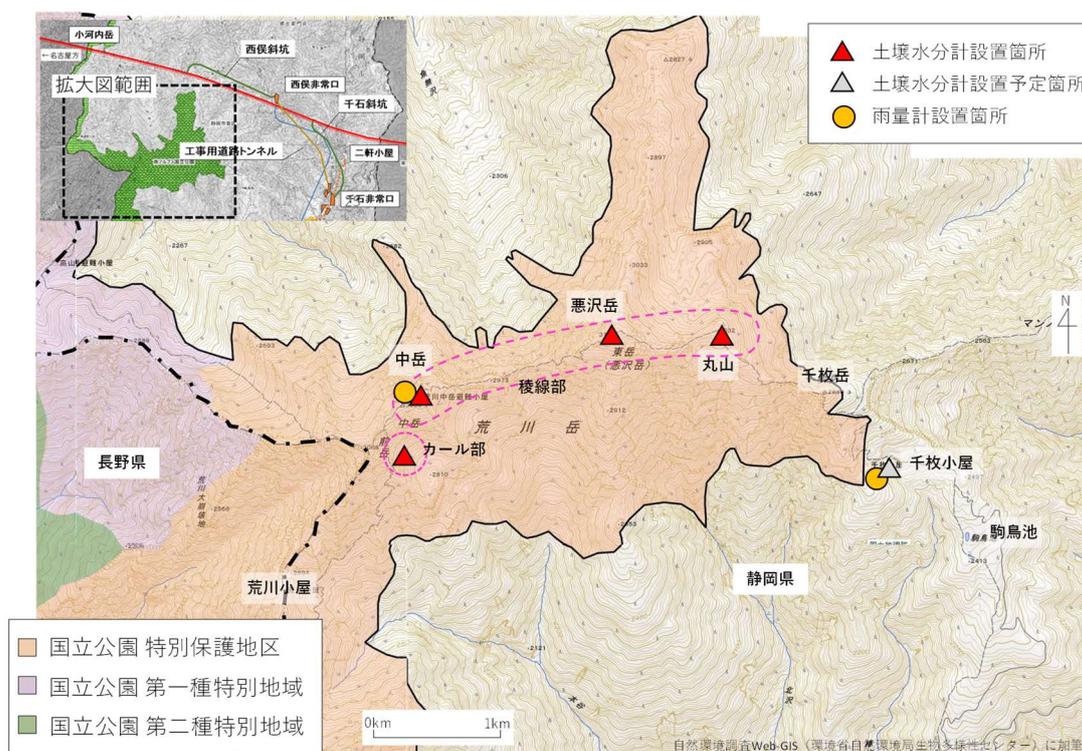
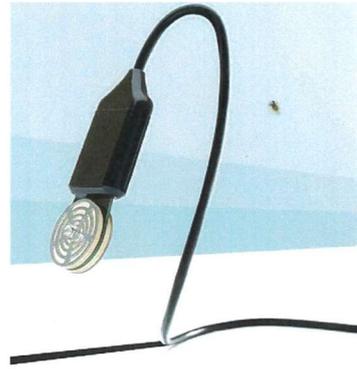


図 4.11 調査箇所平面図（調査 B：地表面付近の土壤水分計測）

³ 植物に対する土壤水分の有効性を示す指標。有効水分は pF=1.5~3.8 とされている。（地下構造物と地下水環境、監修 西垣誠、理工図書株式会社、2002 年 6 月 10 日より）



土壌水分センサー
(METER社のTEROS-10)



水ポテンシャルセンサー
(METER社のTEROS-21)

**図 4.12 土壌水分センサーと水ポテンシャルセンサー
(メータージャパン株式会社カタログより引用)**



図 4.13 土壌水分計の設置状況 (中岳避難小屋付近)



図 4.14 土壌水分計の設置状況 (西カール付近)



図 4.15 雨量計・積雪深計等の設置状況（千枚小屋付近）

③ 一次元の不飽和水分移動に関するシミュレーションについて

- ・シミュレーションは、HYDRUS-1D⁴を使用し、その結果は、地表面から土中にかけての鉛直方向の水分移動に関する理解を深めるために活用します。
- ・調査 A：地質・地下水の状況調査の結果に基づき、可能な限り現地の土層を再現し、降雨を変化させたときの深度方向の体積含水率の変化や仮に設定した地下水位が下がった時の地表面付近の体積含水率の変化を確認します。

⁴ HYDRUS-1D は、米国農務省 U.S. Salinity Laboratory（米国塩類研究所）において開発された、リチャーズ式、熱移動方程式、移流分散式を基本とした移動方程式を連結した数値計算プログラムです。土の保水性を表す水分保持曲線、土の透水性を表す不飽和透水係数を適切な数式モデルで与え、リチャーズ式を数値解析することで不飽和土中の水分移動の予測が可能です。

4) 調査結果について

- ・現地調査（調査 A：地質・地下水の状況調査、調査 B：地表面付近の土壤水分計測）とシミュレーションによるトンネル掘削前後の地表面付近の土壤水分量変化の分析結果は、以下の通りです。

① 調査 A：地質・地下水の状況調査の結果について

【調査 A-1 千枚小屋付近でのボーリング調査の結果】

- ・ボーリング調査によって得られたコア及び柱状図から、GL-0.00m～0.55m で礫混じり粘土が確認されており、その下層には GL-0.55m～1.95m で玉石混じり砂礫、GL-1.95m～30.50m で粘板岩が確認されました（図 4.16）。
- ・また、掘削作業中は地下水位を調べるため、作業終了後に孔内に溜まった削孔水を抜き出し、翌日の作業開始時に孔内水位の変化を確認しました（図 4.17）。
- ・その結果、掘削終了（GL-30.50m）までの間には安定した地下水位はないと考えられます。
- ・なお、図 4.17 に示す①（GL-18.7m～21.7m 掘削段階）、②（GL-21.7m～24.7m 掘削段階）においては、前日の作業終了時と比較して孔内水位の上昇が確認されましたが、これは粘板岩の中でも透水性が低いと考えられる弱風化帯が GL-19.90～22.30m 付近で確認されており（図 4.16）、その上層に局所的に存在する地下水が確認されたものと考えています。

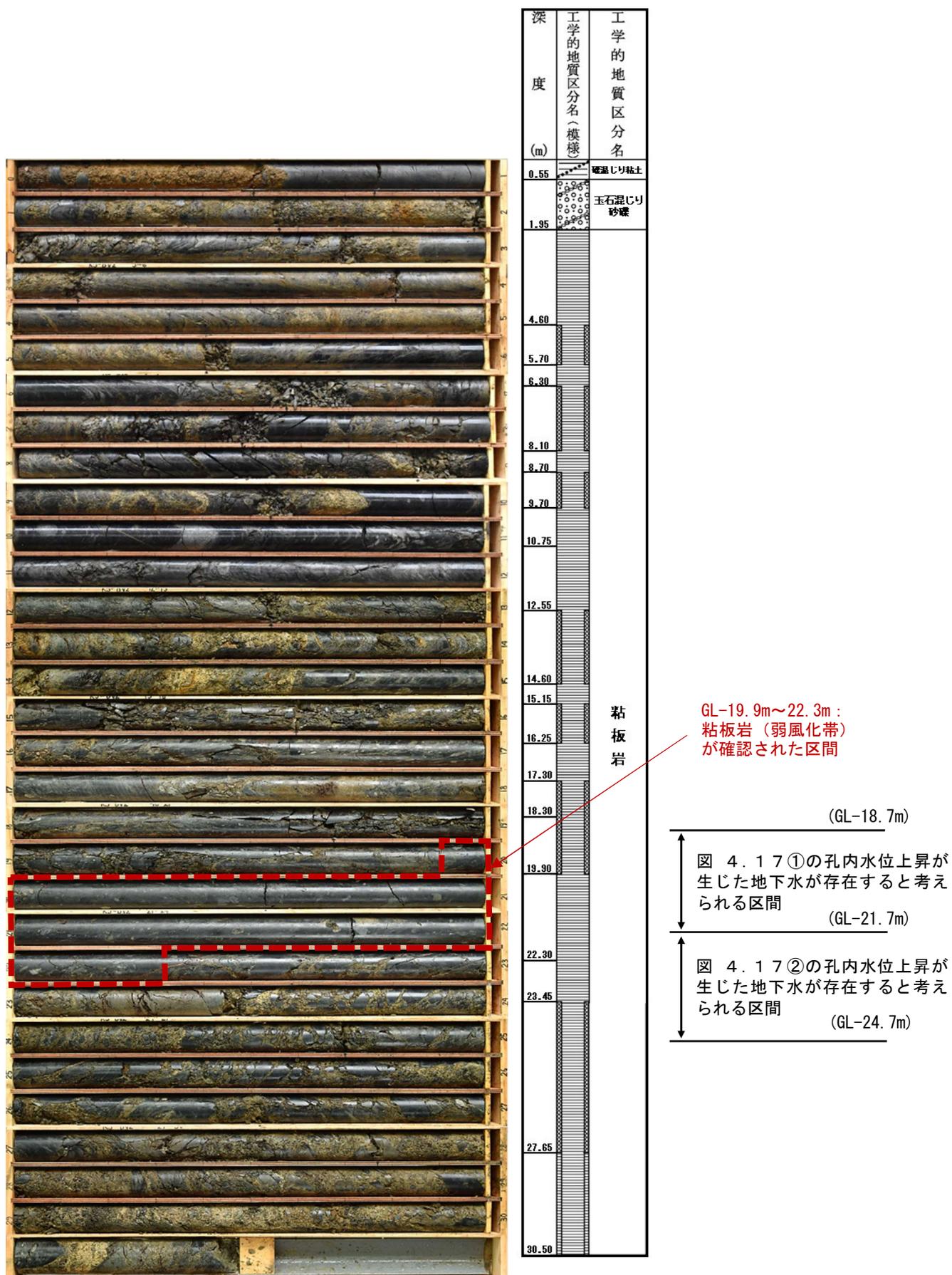


図 4.16 ボーリングコア写真及び柱状図 (千枚小屋付近)

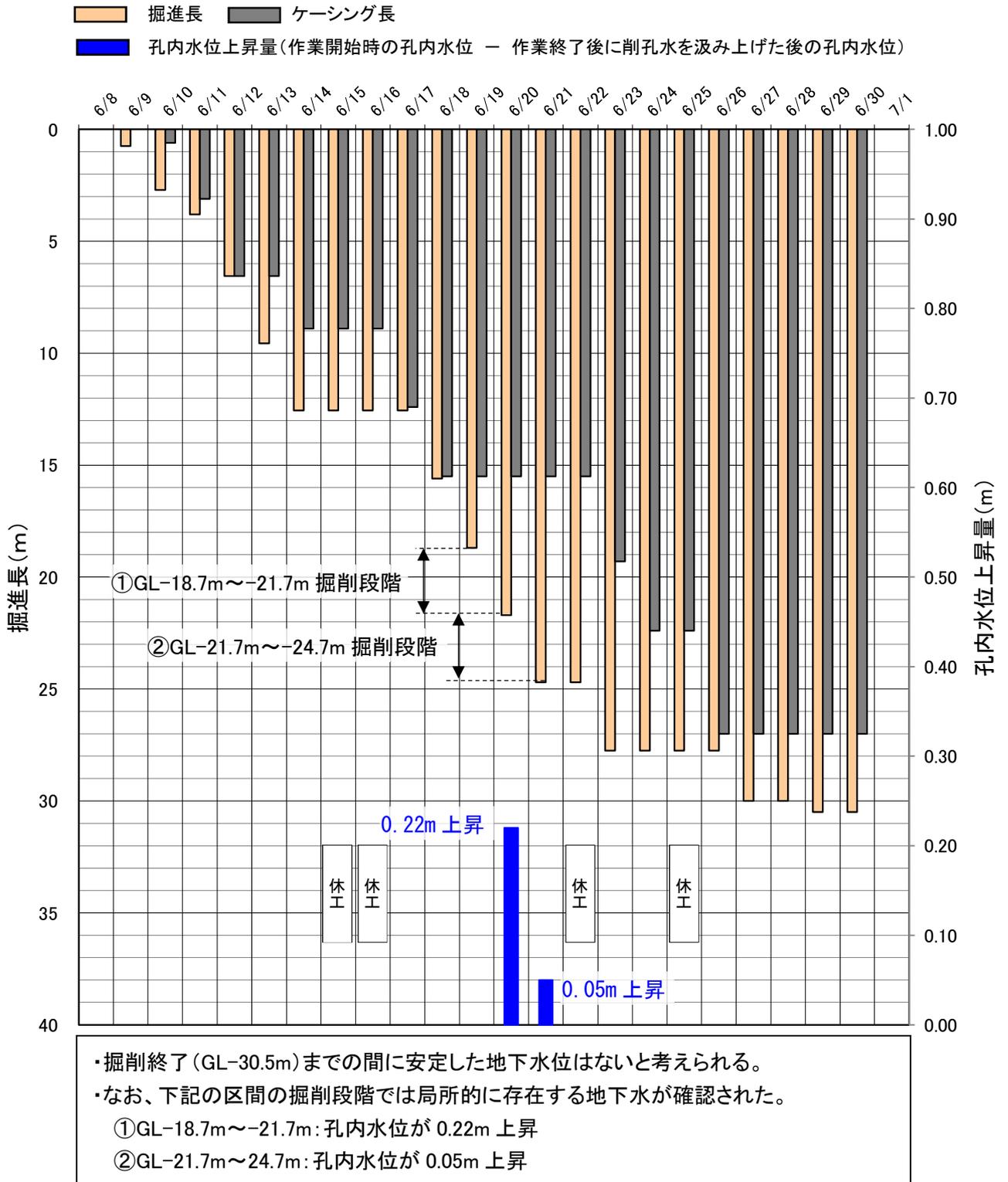


図 4.17 ボーリング掘削状況、孔内水位状況 (千枚小屋付近)

【調査 A-2 稜線部・カール部における掘削調査の結果】

- ・稜線部（中岳避難小屋付近）・カール部（西カール）において地表面から深度 50cm 程度を掘削した土壌断面調査の結果を、図 4.18、図 4.19 に示します⁵。

（稜線部について）

- ・腐植を含む A 層、B 層を合わせた土層の厚さは 25 cm 程度でした。植物の細根（養分や水分を吸収するための根）は A 層及び B 層に集中しており、調査箇所周辺の植生は A 層、B 層に含まれる土壌水を吸い上げていると考えられます。
- ・A～C 層ともに、粒径 2mm 未満の細土については、主に泥岩、砂岩の風化によって生成された砂とシルト、粘土が半分ずつ混ざった壤土でした。A 層、B 層の石礫率が 5～10% に対して、C 層の石礫率は 60% 以上となり、C 層は径 10 cm 以上の大礫が多い状況でした。

（カール部について）

- ・腐植を含む A 層は 15 cm 程度でした。また土色から判断すると、全体に腐植に乏しく、未熟な土壌であると考えられます。植物の細根（養分や水分を吸収するための根）は A 層に集中しており、調査箇所周辺の植生は A 層に含まれる土壌水を吸い上げていると考えられます。
- ・A～C 層ともに、粒径 2mm 未満の細土については、主に泥岩、砂岩の風化によって生成された砂とシルト、粘土からなり、砂分が多い砂壤土でした。また、最下層の C 層は径 10 cm 以上の大礫が過半を占め、石礫率も 90% 以上でした。

⁵ 結果の整理にあたっては、地表の落葉・落枝からなる A0 層（L：未分解の落葉、F：葉等の元の組織が認められる程度に分解、H：分解が進み判別不能となった腐植）を区分し、A 層以下は、土色から判断した腐植の割合や石礫量に着目して区分しました。区分した層位別に土色、石礫、土性、土壌構造、堅密度、水湿、根の状況を記録しました。なお、土壌断面の記載事項や判断基準については、「土壌調査ハンドブック（1990）博友社」、「森林土壌インベントリ方法書改訂版（2008）独立行政法人森林総合研究所」に基づき行いました。

断面写真	土壌柱状図	層位	階深 cm	層界	土色	腐植	石礫率 %	石礫	土性	土壌構造	堅密度	水湿状態	根	
		L	0.3cm											
		F-H	0.5cm											
		A	0~10cm	平坦 判然	10YR5/2	含む	5%	半腐朽・半角礫 小5%	壤土	粒状・中	しょう	潤	細・含む 中・まれ 大・まれ	
	B	10~25cm	波状 渐变	10YR5/3	含む	10%	半腐朽・角礫 小10%	壤土	粒状・中	軟	潤	細・あり 中・まれ		
	C	25cm~	-	10YR5/8	乏しい	60%以上	半腐朽・角礫 小25% 中15% 大20%	壤土	粒状・中	軟	潤	細・まれ		

図 4.18 土壌断面調査結果（稜線部）

断面写真	土壌柱状図	層位	階深 cm	層界	土色	腐植	石礫率 %	石礫	土性	土壌構造	堅密度	水湿状態	根
		L	0.2cm										
		A	0~15cm	平坦 漸変	2.5Y4/3	含む	30%	半腐朽・半角礫 小20% 大10%	砂壤土	粒状・弱	軟	潤	細・あり 中・まれ
		B	15~35cm	波状 判然	2.5Y4/4	乏しい	15%	半腐朽・半角礫 小5% 中10%	砂壤土	粒状・弱	軟	潤	細・まれ 中・まれ
		C	35cm~	-	2.5Y4/4	乏しい	90%	半腐朽・半角礫 小10% 中10% 大70%	砂壤土	粒状・弱	堅	潤	細・なし 中・まれ 大・まれ

図 4.19 土壌断面調査結果（カール部）

※土壌断面調査の各記録事項の判断基準

①土壌層位の推移状況

3～4層に区分した土壌層位の推移状況（例：A層～B層の境界状況）と境界面の形状を以下の基準で記録した。

○推移状況

明瞭：層位の境界が3cm未満、判然：層位の境界が3～5cm、漸変：境界が不明瞭

○境界面の形状

平坦：層位境界が平面状、波状：層位境界の凹凸が小さい、不規則：層位境界の凹凸が大きい、不連続：層位境界が不連続（※記載例 明瞭・平坦）

②土色と腐植

各層位から採取した土の薄片の土色を標準土色帖の色見本と照らし合わせ、該当する色相、明度、彩度（例：7.5YR（色相）3（明度）/2（彩度））を選定した。土色は腐植含有量と相関し、褐色森林土の場合は、次のような関係がある（真下、1976）。ただし、礫や砂が多い土質では、必ずしも土色と腐植含量は相関しない。

○色相（森林土壌の場合、色相は主に7.5YR～10YR）

明度/彩度	土色	定性的な腐植含有量
1/1、2/1～2/2	黒	すこぶる富む
2/2～2/3、3/2～3/3	黒褐色	富む
3/3～3/4、4/3～4/4	暗褐色	含む
4/4～4/6、5/4～5/8、6/4～6/8、7/8、8/8	褐色	あり

③石礫

各層位の石礫は、石礫の割合（各層位に占める石礫全体の割合）、風化程度、形状、大きさを以下の基準に基づき記録した。

○風化程度

未風化：新鮮でほとんど風化していない、半腐朽：多少風化しているが、なお堅硬、腐朽：スコップ等で容易に削れる程度に風化

○形状

角礫：稜が鋭くとがっている、半角礫：稜が丸みを帯びている、円礫：稜がほとんどなく、丸みを帯びている

○大きさ

細：2mm～1cm、小：1～5cm、中：5～10cm、大：10～20cm

※記載例：石礫率 10%、半腐朽・半角礫 細5%、中5%

④土性（粒径2mm未満の細土）

断面調査時における土性は、現場での簡易判定法を用いて以下の5つに区分した。

- ・砂土：こねてもまったく塊ができない
- ・砂壤土：こねると多少塊となるが、棒状には成形できない
- ・壤土：こねると鉛筆くらいの太さに成形できる
- ・埴土：こねるとマッチ棒くらいの太さに成形できる
- ・埴土：こねるとコヨリのように細長く成形できる

⑤土壌構造とその発達程度

土壌構造は、土壌粒子がお互いにくっつき合っただけの集合体で、年間を通した土壌の乾湿状況や土壌生物の関わり度合を指標とする。本調査では、森林土壌の主にA～B層に見られる以下の3つの構造とそ

の発達程度を記録した。

○土壌構造

- ・団粒状構造：水分に富む数mm程度の小粒で、指で容易につぶれるもの。適潤～湿潤で土壌動物や微生物の活性が高い土壌に発達する。
- ・粒状構造：数mm程度の小粒であるが、指でつぶすとかなり抵抗を感じるもの。乾きやすい土壌に発達する。
- ・堅果状構造：スコップなどで土壌を採取し、ほぐした際、稜を持った1～3cm程度の塊となるもの。乾湿が繰り返される粘土含有率が高い土壌に発達する。

○土壌構造の発達程度

- ・弱：当該土壌構造がかりうじて識別できる
- ・中：当該土壌構造がやや明瞭に識別できる
- ・強：当該土壌構造がきわめて明瞭に識別できる（※記載例：団粒状構造、弱）

⑥堅密度

堅密度は土層の堅さや緻密さを示し、土壌の通気性、透水性、植物根の侵入と関係する。

堅密度区分

定性的な判断基準

- | | |
|---------|------------------------|
| ・しろう： | 土粒の結合が緩く土解が容易に崩れる |
| ・軟： | 土粒が比較的密に結合するが押すと指痕が残る |
| ・堅： | 土粒が密に結合、強く押すと指痕が残る |
| ・すこぶる堅： | 土粒が密に結合、強く押しても指痕が残らない |
| ・固結： | かりうじて移植ゴテが断面に入っている程、硬い |

⑦水湿状態

土壌の湿り気を下記の基準に基づき定性的に判定し記録した。

水湿区分

定性的な判断基準

- | | |
|------|-------------------------|
| ・乾： | 土壌を強く握っても手に湿気が残らない |
| ・潤： | 土壌を握ると手に湿気が残る |
| ・湿： | 土壌を親指と人差し指の間でつまむと水が滲みでる |
| ・多湿： | 土壌を握ると水滴が落ちる |
| ・過湿： | 土壌を手にとると、自然に水滴が滴る |

⑧根

土壌断面（10cm四方）に見られる根の量を、根の大きさ別に判定し記載した。

○根の量（10cm四方）

- ・なし：0本
- ・まれ：1本～20本未満
- ・あり：20本～50本未満
- ・含む：50本～200本未満
- ・富む：200本以上

○根の大きさ

- ・細：直径2mm未満
- ・中：直径2～20mm
- ・太：直径20mm以上（※記載例：細・あり、中・まれ）

【調査 A-3 稜線部・カール部における電気探査の結果】

- ・ 稜線部（中岳避難小屋付近）における調査結果は図 4.20、カール部（西カール）における調査結果⁶は図 4.21 の通りです。電気探査の結果は、600～50000 Ωm の 21 色で色区分表示し、電気の流れやすい低比抵抗領域を寒色系（青色系）、電気の流れにくい高比抵抗領域を暖色系（赤色系）で表示しています。

（稜線部について）

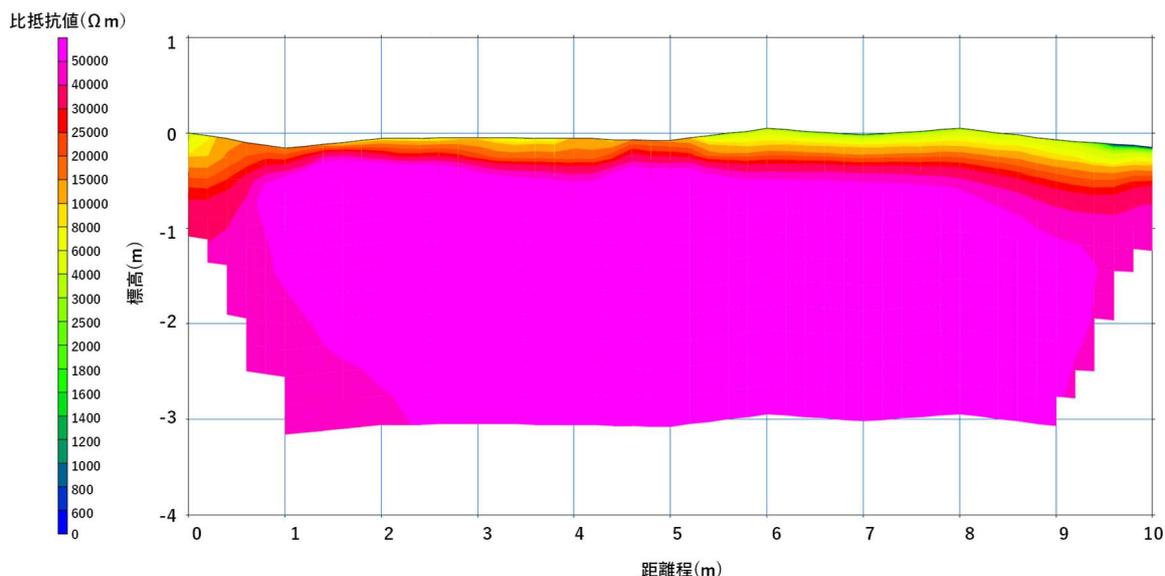


図 4.20 電気探査の結果（稜線部）

- ・ 全体として、概ね 10000 Ωm 以上の比抵抗値の高い領域の分布が確認され、距離程 5.2~10m 区間では、表層付近に概ね 3000 Ωm 以下の比抵抗値の低い領域の分布が確認されました。

⁶ 電気探査の結果（地盤の比抵抗分布）のみから地質構造や地盤の状態などを一義的に解釈することは困難とされていることから、掘削調査と重ね合わせられる結果がある中岳避難小屋付近と西カールの結果をお示しします。

(カール部について)

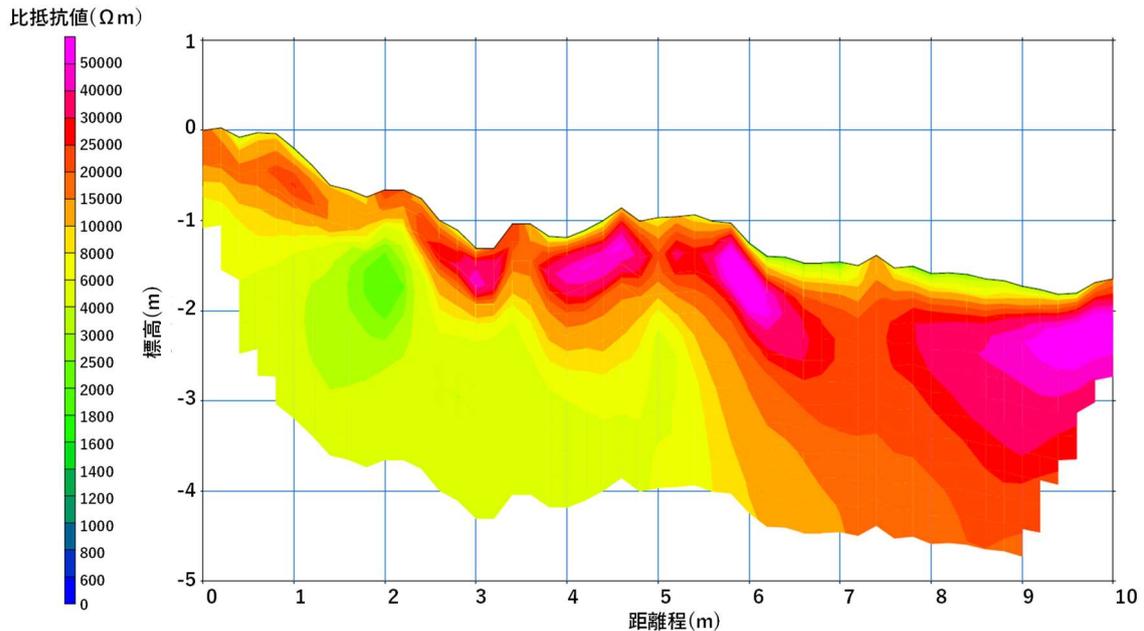


図 4.2.1 電気探査の結果（カール部）

- ・全体として、比抵抗値は概ね 1500～50000 Ωm 以上と高い値を示しています。
- ・測線のほぼ全域にわたり、地表面から概ね 1m の深さの範囲に、概ね 10000 Ωm 以上の比抵抗値の高い領域の分布が確認されました。
- ・また、距離程 5.8～10m 区間では、表層付近に概ね 3000 Ωm 以下の比抵抗値の低い領域の分布が確認され、その下部には 10000 Ωm 以上の比抵抗値の高い領域の分布が確認されました。
- ・なお、測線の距離程 2m～3m 付近に比較的比抵抗値が低い領域が確認されました。これは、現地で頁岩が露頭している箇所（図 4.2.2）がみられたことから地表面から浅い箇所での岩が相対的に低い比抵抗値を示したのではないかと考えられますが、今回の調査結果から、要因を特定することはできませんでした。



図 4.2.2 露頭箇所

② (参考)調査 B:地表面付近の土壤水分計測の状況について

- ・土壤温度、体積含水率、pF 値の計測結果を、気象庁の公表している解析雨量とあわせて、図 4.23～図 4.29 に示します。計測期間は 2022 年 10 月 10 日～2023 年 7 月 31 日です (約 10 か月間)。
- ・また、2023 年 7 月 4 日に千枚小屋付近に雨量計を新設しました。図 4.24、図 4.26 については、現地の降雨と体積含水率、pF 値との応答を確認するため、千枚小屋付近の雨量計で観測した雨量とあわせて、お示ししています。
- ・なお、計測結果については、計器の性能を考慮し、以下の点に留意が必要です。

(計測結果に関する留意事項)

- ・体積含水率については、測定された誘電率から一般的な耕作土を対象とした変換式にて体積含水率を算出していることから、正確な値を算出するためには現地の土壤を用いた室内試験によるキャリブレーションが必要とされています。しかしながら、現地が標高 3,000m を超える箇所であり、現地土壤をキャリブレーションに必要な量を持ち帰ることが困難であることからキャリブレーションを実施していないため、センサーから出力された体積含水率の絶対値については厳密に正確な値ではなく、降雨との連動等、連続的な変化を考察するために活用します。
- ・pF 値については、土壤内に設置することで水のポテンシャルエネルギーが周辺土壤と平衡状態となった多孔質セラミックディスクの誘電率を測定し、水分含有量を求め、素材固有に定められる水分特性曲線から、土壤のマトリックポテンシャルを算出しているため、土壤の種類によるキャリブレーションの必要はありません。
- ・体積含水率、pF 値ともに誘電率を計測することから、土壤が凍結している状態では誘電率が変化し、正確に計測はできません。pF 計に付属している温度計の測定精度が±1℃であることから、計測された土壤温度が 1℃未満の際の値は参考値として扱います。
- ・また、pF 値については、pF 値=1.7 未満の測定精度は保証されていないため、pF 値=1.7 未満の測定結果は参考値として扱います。

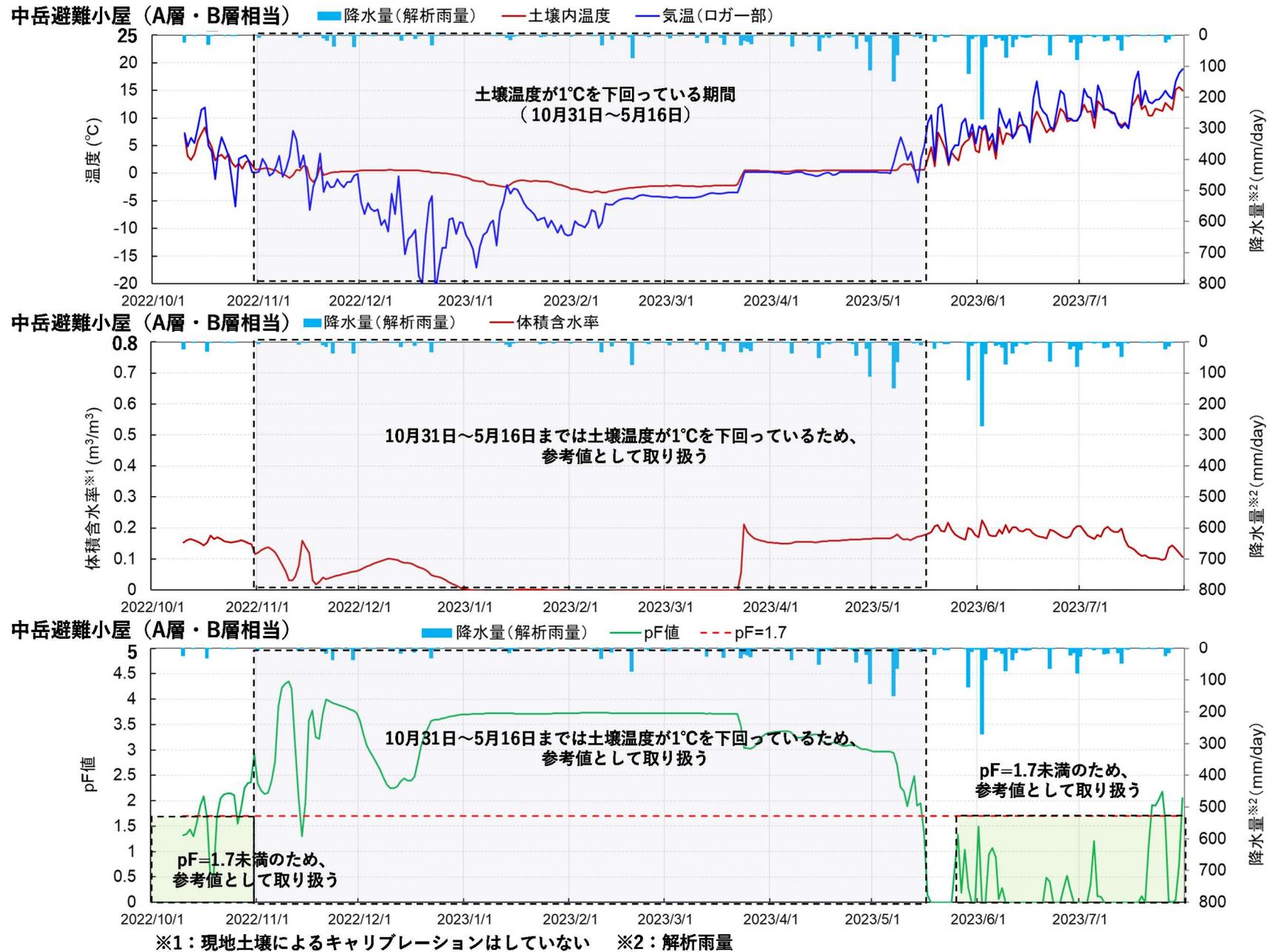


図 4.23 中岳避難小屋付近の計測結果 (A・B層相当)

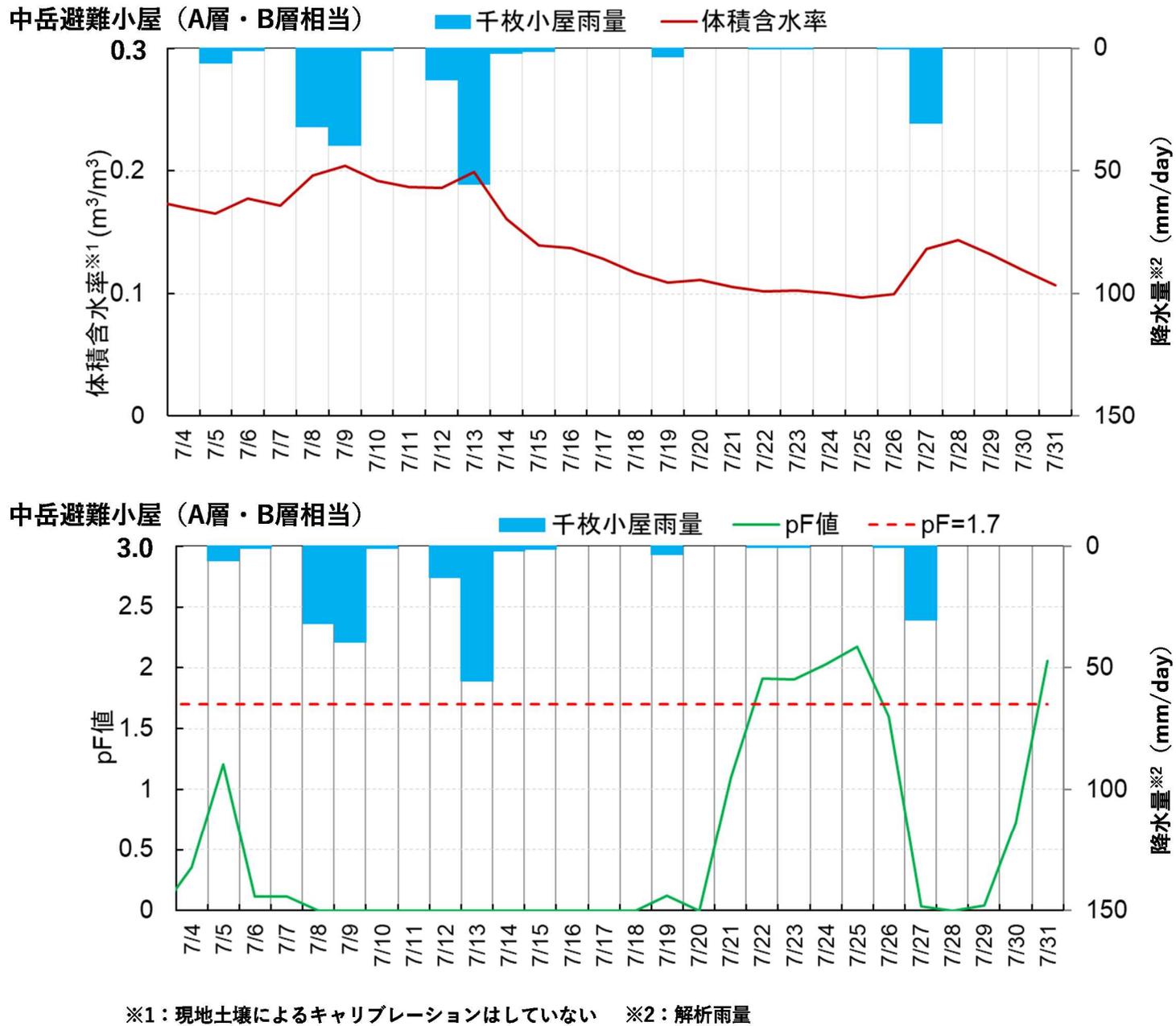


図 4.24 中岳避難小屋付近の計測結果 (A層・B層相当: 降水量を千枚小屋での実測データ)

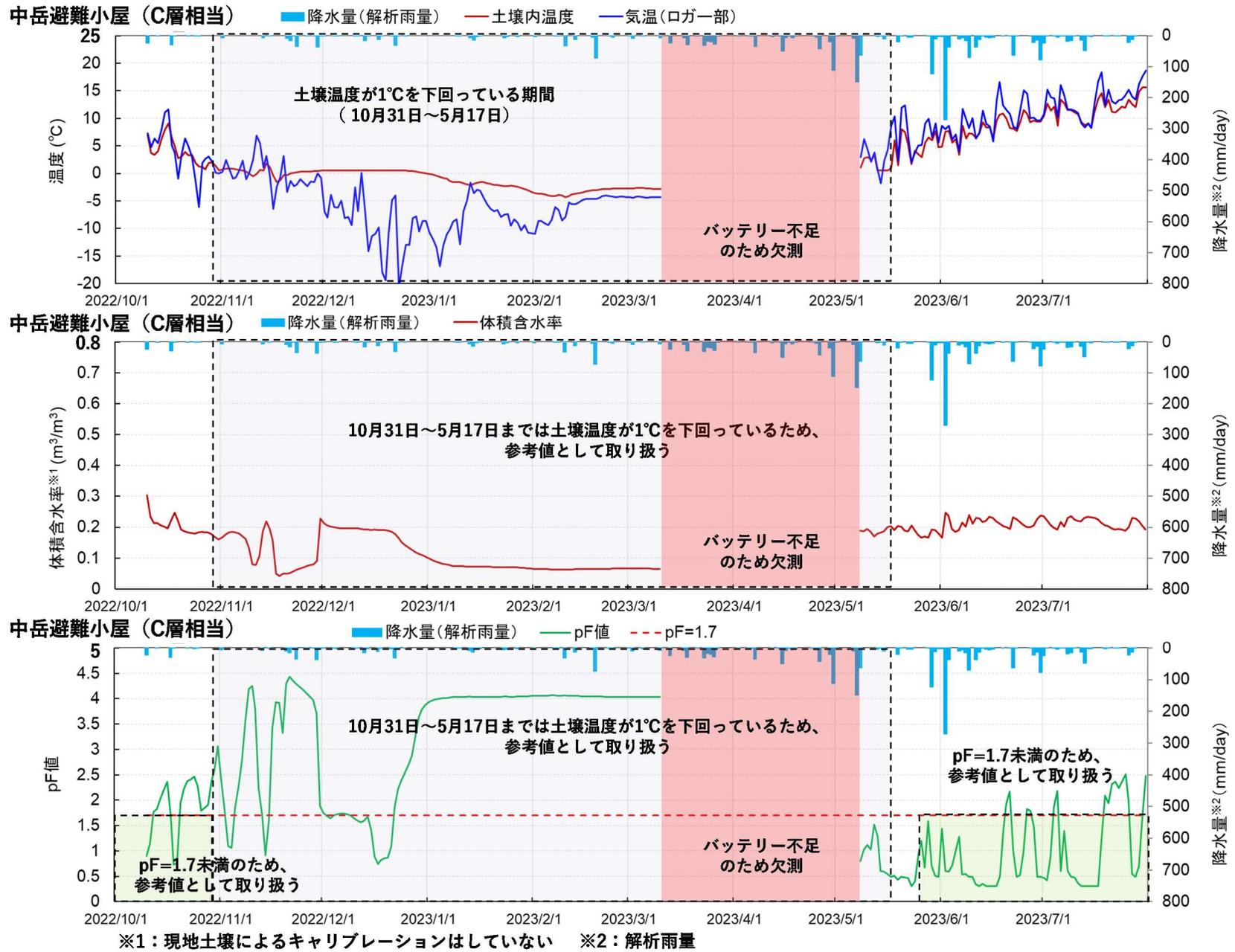
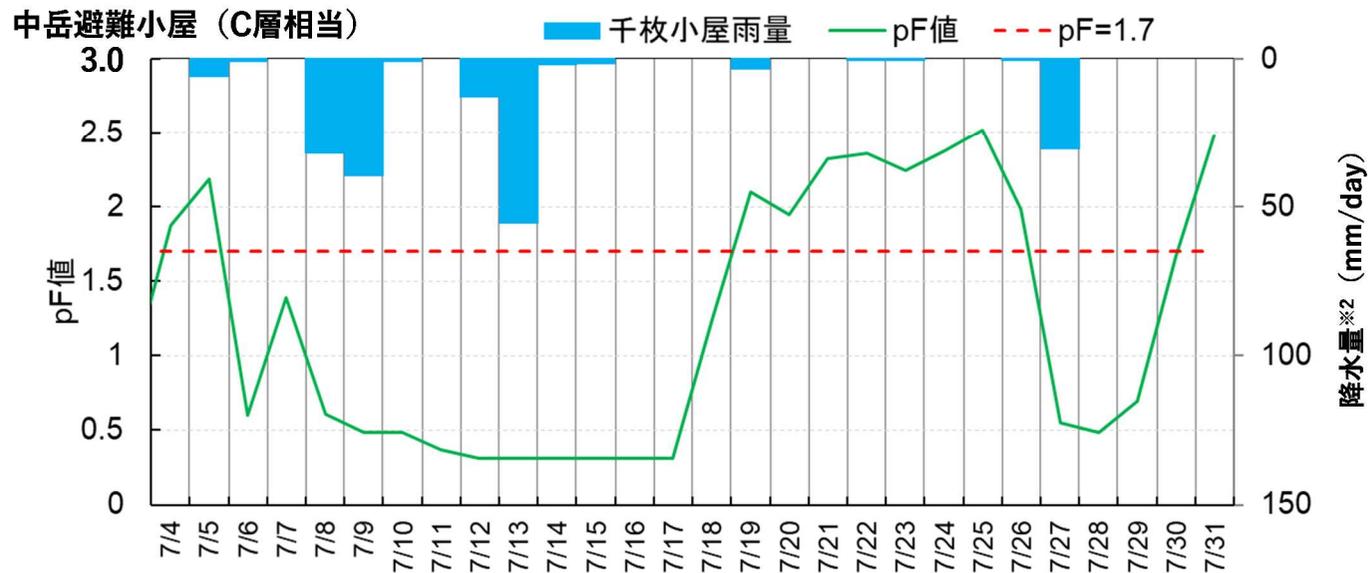
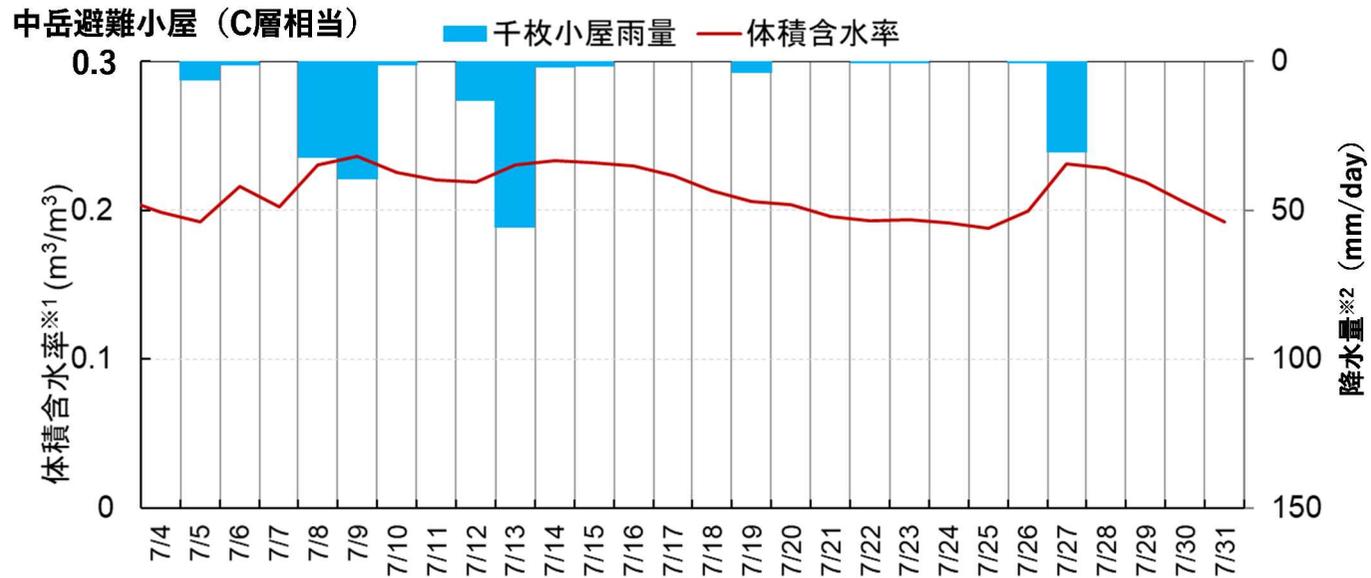


図 4.25 中岳避難小屋付近の計測結果 (C層相当)



※1: 現地土壤によるキャリブレーションはしていない ※2: 解析雨量

図 4.26 中岳避難小屋付近の計測結果 (角礫層: 降水量を千枚小屋での実測データ)

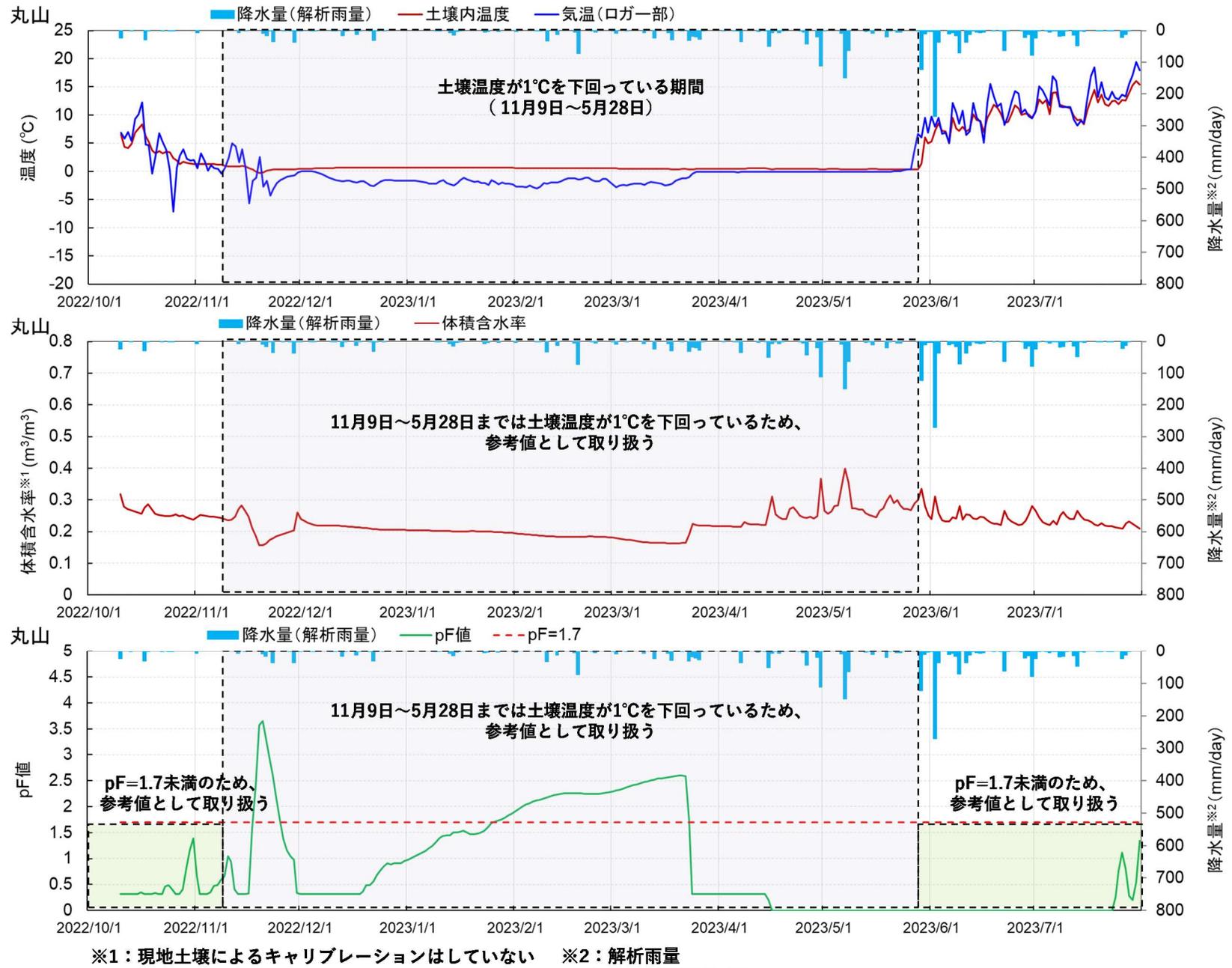


図 4.27 丸山の計測結果

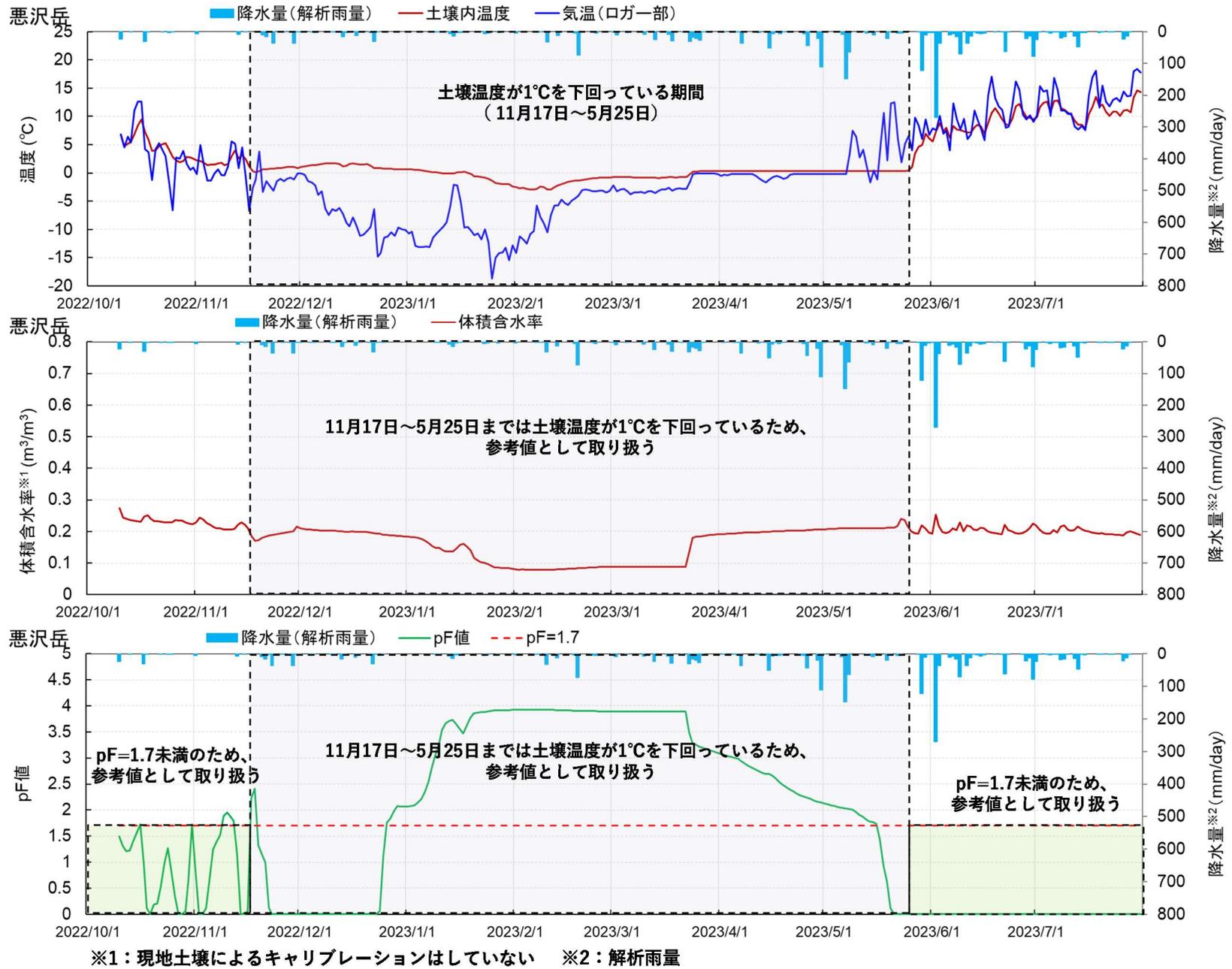


図 4.28 悪沢岳の計測結果

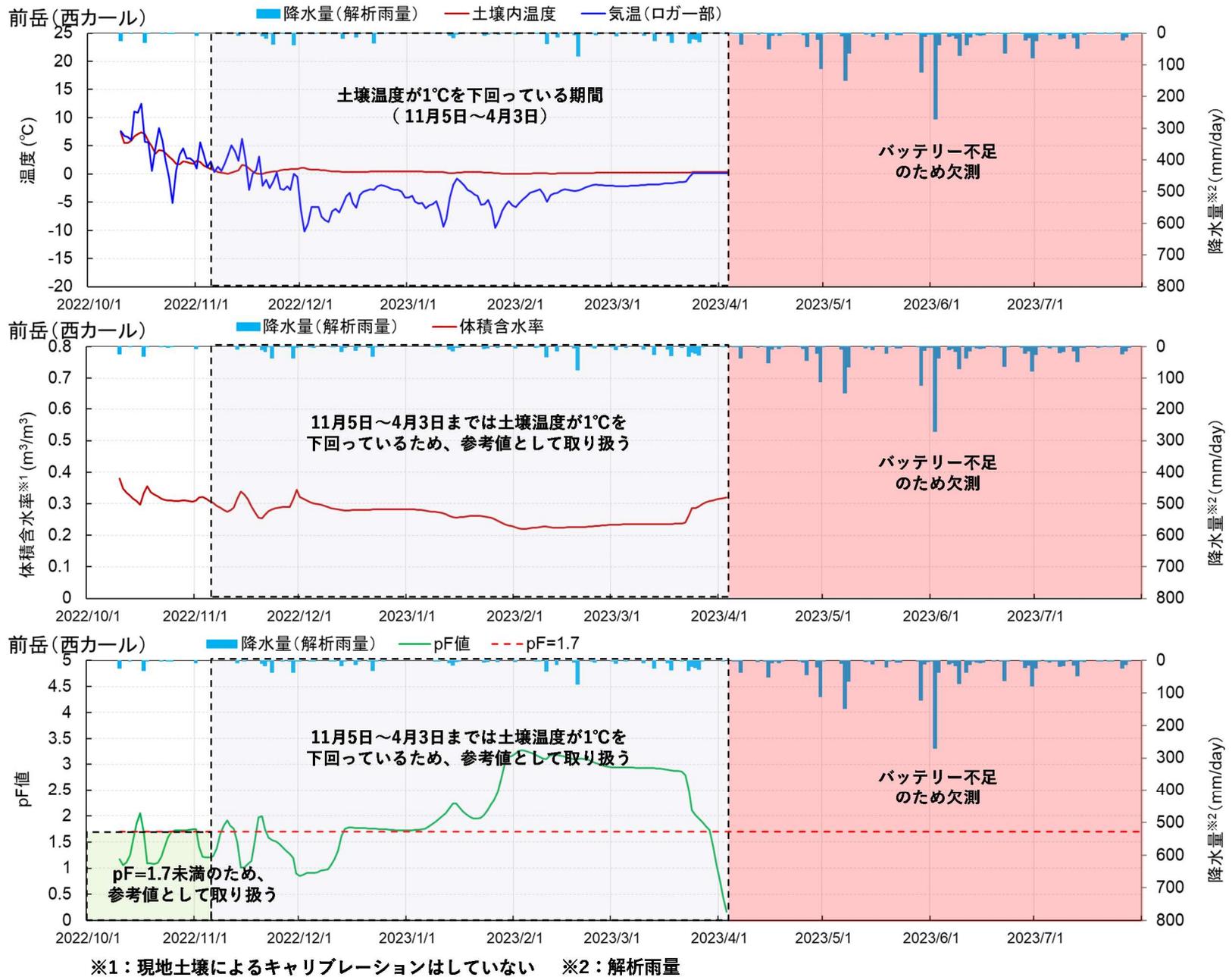


図 4.29 西カールの計測結果

- ・約10ヶ月間の計測の結果、以下の点が確認されました。
 - －現地は、冬季に気温が -20°C 近くなるような寒冷な状況であり、土壤温度も11月頃～5月頃までは、 1°C を下回り、土壤凍結が生じている可能性が確認されました。
 - －中岳避難小屋付近において2023年7月に計測された体積含水率やpF値については、千枚小屋付近に設置した雨量計で観測された降雨と連動していると考えられます。
 - －pF値が1.7を下回るような湿潤な状況にある期間が確認されました。
- ・一方で、以下の課題も明らかになりました。
 - －約10ヶ月間の計測のうち、一部バッテリー不良による欠測が確認されました。
 - －計器の性能上、参考値として扱う必要のある期間があることが確認されました。
 - －pF値が0のまま変化がない等、結果の解釈が難しい期間があることが確認されました。
 - －設置後初年度の結果であり、複数年にわたっての傾向は考察できていません。
- ・こうした課題を踏まえると、現時点では、この土壤水分の調査結果を、計画当初の目的（表層付近の土壤水分は降水と連動していることを確認すること）や今後のモニタリングに活用できるかどうかは、判明しませんでした。
- ・今後は、千枚小屋付近よりも更に標高が高く土壤水分計に近い、中岳避難小屋付近に設置した雨量計データ（2023年9月設置）との応答等も確認しながら、今回設置した土壤水分計による計測結果から明らかにできることを整理し、モニタリングに活用できるかどうか等の検討を深めてまいります。

③ 一次元の不飽和水分移動に関するシミュレーションの結果について

(モデル化の概要)

- ・千枚小屋付近で実施した深さ約 30m のボーリング調査の結果や稜線部、カール部で実施した掘削調査の結果に基づき、土層を 3 つに区分しました。
- ・稜線部、カール部での掘削調査において、A 層、B 層が約 0.3m 確認されたことから、地表面から GL-0.3m までを第 1 層、千枚小屋付近のボーリング調査において GL-0.55m~1.95m までに玉石混じり砂礫が確認されたことから、GL-0.3~-2.0m を第 2 層、同じく千枚小屋付近のボーリング調査において、GL-1.95m~30.5m までに岩盤(粘盤岩)が確認されたことから、GL-2.0m~モデル底面までを第 3 層としました。メッシュは 100mm 間隔に分割しました。



図 4.30 モデル化にあたっての土層区分の考え方 (イメージ)

- ・トンネル掘削前後の地表面付近の体積含水率の変化を考察するため、トンネル掘削前の状況を想定した【ケース1】とトンネル掘削後の状況を想定した【ケース2】の2つのモデルを作成し、2つのモデルでの地表面付近の体積含水率を比較することで、トンネル掘削前後の変化を考察します。
- ・トンネル掘削前の状況を想定した【ケース1】は、千枚小屋付近でのボーリング調査の結果、GL-30.5m までに安定した地下水位は確認されなかったことから、GL-30m をモデル化し、GL-29m に地下水位面を設定しました。
- ・トンネル掘削後の状況を想定した【ケース2】は、仮にトンネル掘削により地下水位が低下した状況として GL-100m をモデル化し、GL-99m に地下水位面を設定しました（図 4.31）。

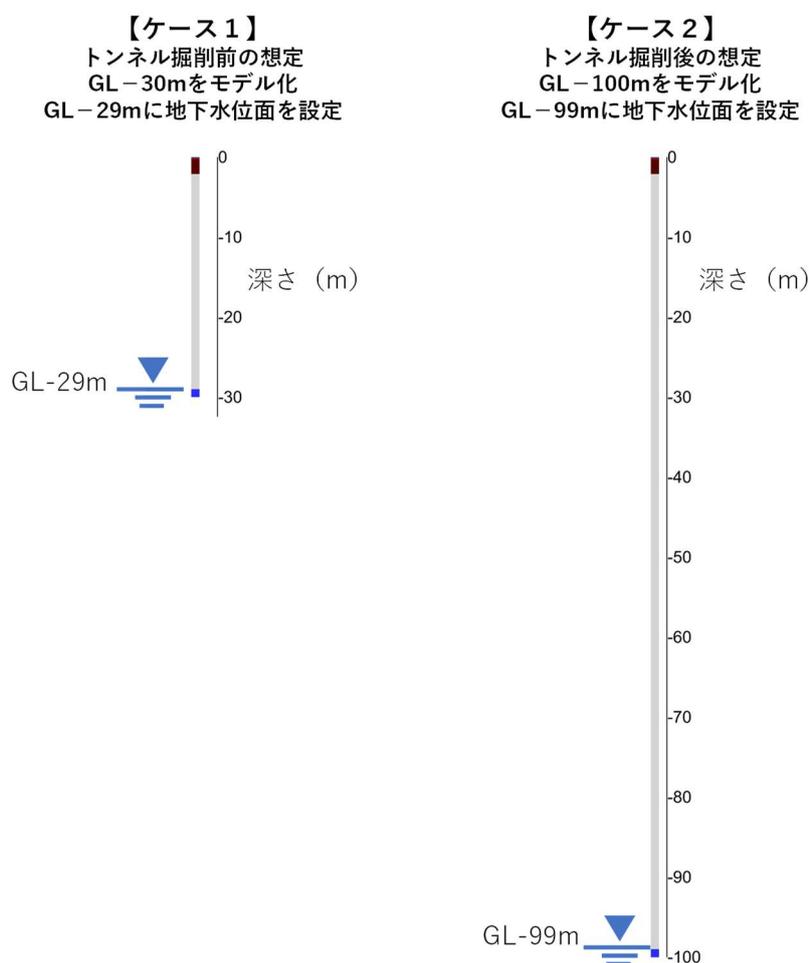


図 4.31 モデル化の概要

(初期条件と境界条件)

- ・ 下部境界は、GL-29m と GL-99m の水位面を設定するため、各モデルで圧力水頭 1m の圧力固定条件としました。
- ・ 上部境界については、まず、有効降水量 (4mm/day) を与え続け、平衡状態となるまで解析を実施し、その後、降水量と蒸発散量を考慮した有効降水量を日単位で与えました (表 4.1)。

表 4.1 解析ステップ

ステップ	時間(年)	備考
1 定常解析	-	有効降水量として、4mm/day を与え続け、平衡状態となるまで解析を実施
2 非定常解析	4年	ステップ1を初期条件として、2022年8月1日～2023年7月31日の気象データを4年サイクル与え、最終年の結果を抽出する

(気象データ)

- ・ 非定常解析の降水量は、解析雨量 (気象庁) の荒川岳が該当するメッシュの降水量をもとに、菅原の式 (タンクモデル) をもとに積雪、融雪を考慮した降水量データを入力しています。

(水理パラメータ)

- ・第1層（表層土壌 A-B 層）については、千枚小屋付近でボーリング調査を実施した箇所にて採取した表層土壌を用いた保水性試験の結果から設定しました。
- ・第2層については、測定データがないため、文献における砂の値を採用しました⁷。第3層についても、測定データがないため、風化している状況を踏まえ、文献における軟岩系岩盤の数値を参考に設定しました⁸。

表 4.2 水理パラメータ

土層区分	残留体積含水率 θ_r (-)	飽和体積含水率 θ_s (-)	α (1/m)	n (-)	透水係数 K_s (m/sec)
第1層 (表層土壌 A-B 層)	0.003	0.6	2.219	1.303	1.0.E-04
第2層 (砂礫層)	0	0.365	5.740	1.629	1.0.E-05
第3層 (岩盤)	0	0.3	0.0759	1.456	1.0.E-06

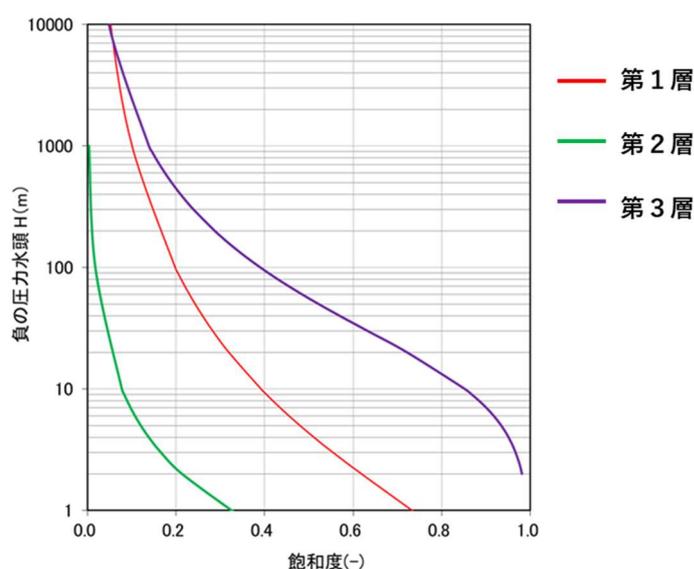


図 4.32 土層区分毎の水分特性曲線

(結果と考察)

- ・【ケース1】地下水位が GL-29m（トンネル掘削前の状況）と【ケース2】GL-99m（トンネル掘削後の状況）の場合の体積含水率について、地表面からの深度毎（0.1m、0.3m、0.5m、1m、2m）に図 4.33～図 4.37 に示します。

⁷ 土壌・地下水汚染の調査・予測・対策、(社)地盤工学会、p103

⁸ 我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第2次取りまとめ分冊2地層処分工学技術、p.IV-435、平成11年11月26日、核燃料サイクル開発機構

- 解析の結果、トンネル掘削に伴い地下水位が GL-29m から GL-99m まで変化したとしても、地表面から 2m までの範囲（A 層、B 層、C 層相当）の土壌の体積含水率に影響は及ばない結果となりました。
- これは、今回設定した条件では、地表面付近の層（A 層、B 層、C 層相当：モデル上 GL-2m の範囲）には、解析上設定した地下水面からの毛管現象の影響が及んでいないためであると考えられます。



図 4.33 深度 0.1m 地点での体積含水率の比較



図 4.34 深度 0.3m 地点での体積含水率の比較



図 4.35 深度 0.5m 地点での体積含水率の比較

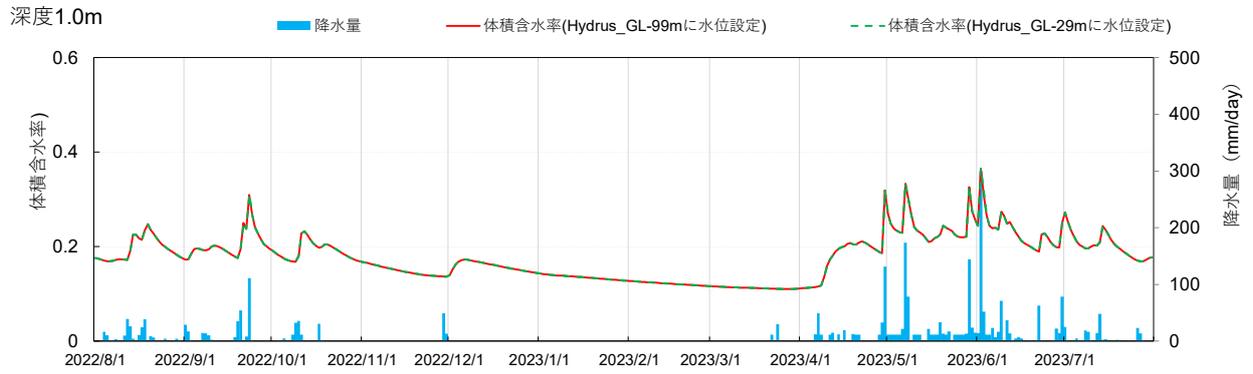


図 4.36 深度 1.0m 地点での体積含水率の比較

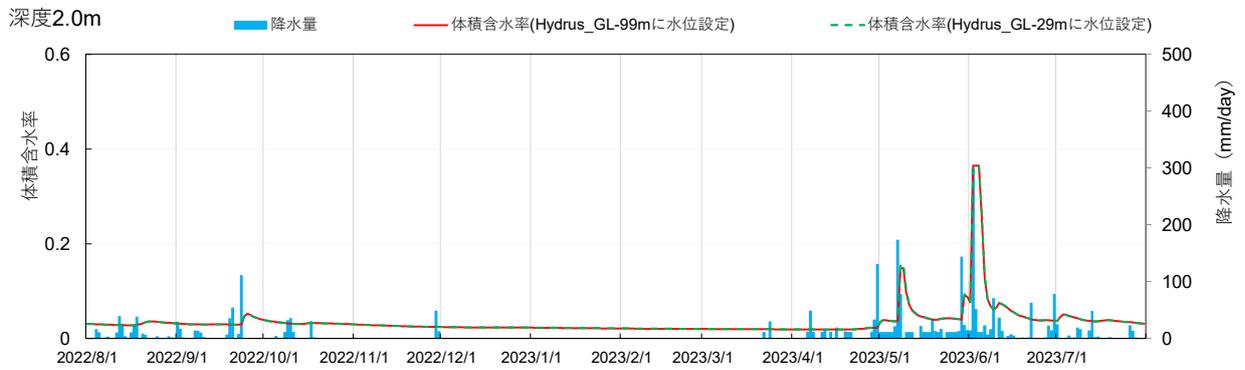


図 4.37 深度 2.0m 地点での体積含水率の比較

5) 考察について

- ・ 4) の調査結果に基づき、高標高部の植生への影響を考察します。

結果①

- ・ 千枚小屋付近のボーリング結果から、安定した地下水位は地表面から 30m 以内には確認されなかったため、山体全体として広域に分布していると考えられる地下水位は、地表面から 30m より深いと考えられます。

結果②

- ・ 掘削調査の結果、稜線部・カール部ともに、植物の細根（養分や水分を吸収するための根）は A 層及び B 層に集中しており、調査箇所周辺の植生は主に、A 層、B 層に含まれる土壤水を吸い上げていると考えられます。

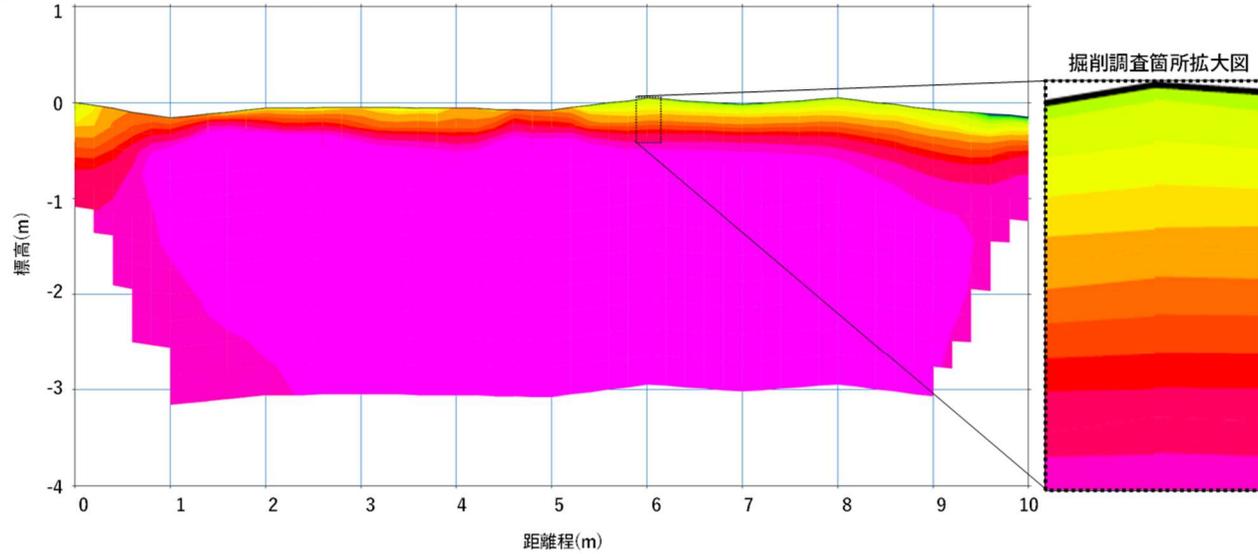
結果③

- ・ 電気探査の結果（地盤の比抵抗分布）のみから地質構造や地盤の状態などを一義的に解釈することは困難とされており⁹、結果の解釈は慎重に行う必要があることから、掘削調査と組み合わせ、現地の地質の状況を考察します。
- ・ 電気探査と掘削調査の結果を重ねあわせ、図 4.38、図 4.39 に示します。
- ・ 掘削調査箇所付近の比抵抗分布は、地表面から深くなるにつれて高くなる傾向が確認されており、掘削調査の結果と照らし合わせると、地表面から順に腐植を含む A 層、腐植に乏しい B 層、10cm 以上の大礫を含む C 層となっている状況を反映していると考えられます。
- ・ 稜線部では電気探査の距離程 5.2~10m 区間、カール部では距離程 5.8~10m 区間において、掘削調査箇所と同様の比抵抗分布が確認されることから、当該区間は地表面から順に、腐植を含む A 層、腐植に乏しい B 層、10cm 以上の大礫を含む C 層が分布していると考えられます。
- ・ 掘削調査箇所を確認された比抵抗値が高い領域（概ねオレンジ色や赤色の領域）については、掘削調査の結果と照らし合わせると、10cm 以上の大礫を含む C 層（角礫層）と解釈することができ、掘削調査と同様の深さで、電気探査の測線全体にわたり比抵抗値の高い領域（概ねオレンジ色や赤色の領域）が確認されることから、調査実施箇所全体にわたり、A 層、B 層の下部に 10cm 以上の大礫を含む C 層（角礫層）が分布していると考えられます。

⁹ 「新版 物理探査適用の手引き、公益社団法人物理探査学会、平成 20 年 10 月 21 日発行」より

比抵抗値(Ωm)

<電気探査による比抵抗分布>



<土壌断面調査結果>

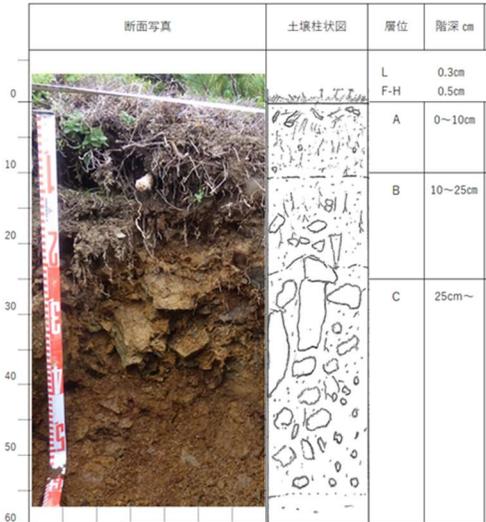
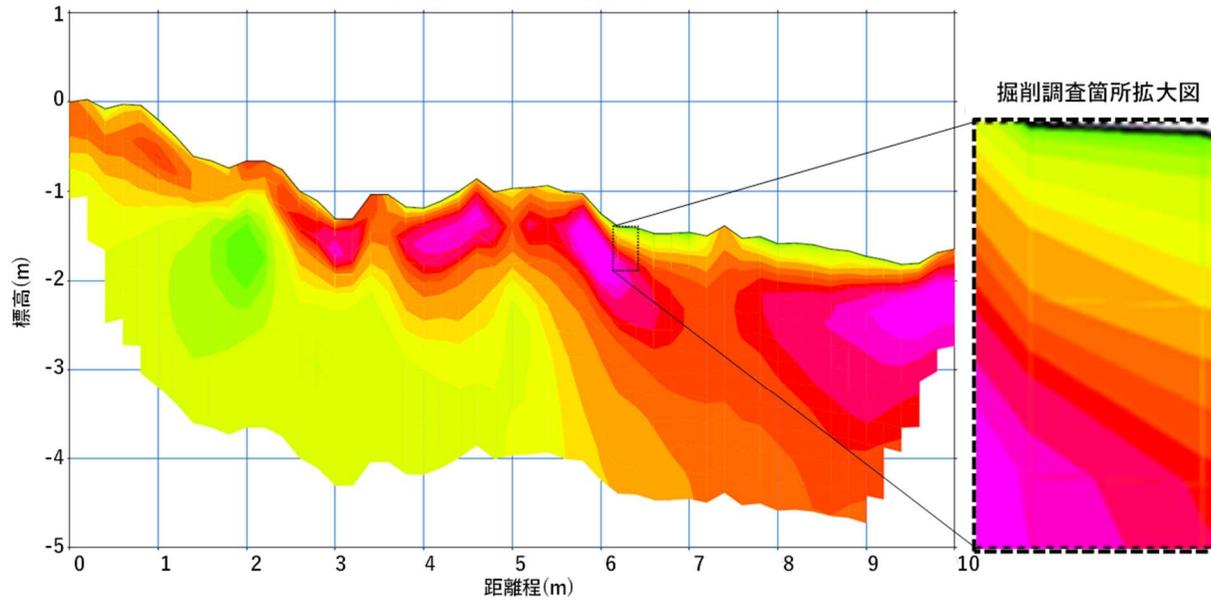


図 4.38 掘削調査と電気探査の重ねあわせ図 (稜線部)

比抵抗値(Ωm)

<電気探査による比抵抗分布>



<土壌断面調査結果>

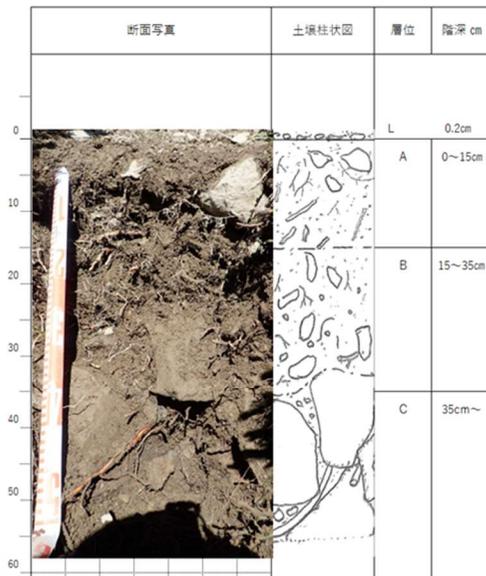


図 4.39 掘削調査と電気探査の重ねあわせ図 (カーブ部)

結果④

- ・結果①、③を踏まえたシミュレーションの結果、トンネル掘削に伴い地下水位が GL-29m から GL-99m まで変化したとしても、地表面から 2m までの範囲の土壌の体積含水率に影響は及ばない結果となったことから、今回設定した条件においては、地表面付近の層（A 層、B 層、C 層相当：モデル上 GL-2m の範囲）には、解析上設定した地下水面からの毛管現象の影響が及んでいないと考えられます。
- ・結果①～結果④を踏まえると、A 層、B 層への水分の主な供給経路は、地下深部の地下水ではないと考えられ、トンネル掘削に伴う地下深部の地下水位変化によって高標高部の植生の生育状況には影響が及ばないと考えられます。
- ・一方で、シミュレーションの結果には不確実性が伴うこと等から、順応的管理の観点を踏まえ、今後も引き続き現地での調査・計測を継続し、地表面付近の土壌水分に関する考察を深めてまいります。

(2) 高標高部の池の水に関する分析

1) 調査対象箇所と調査項目

- ・駒鳥池、天鏡池といった高標高部に存在する線状凹地等の池において、現地調査を行いました。調査対象箇所と調査項目を図 4.40 に示します。

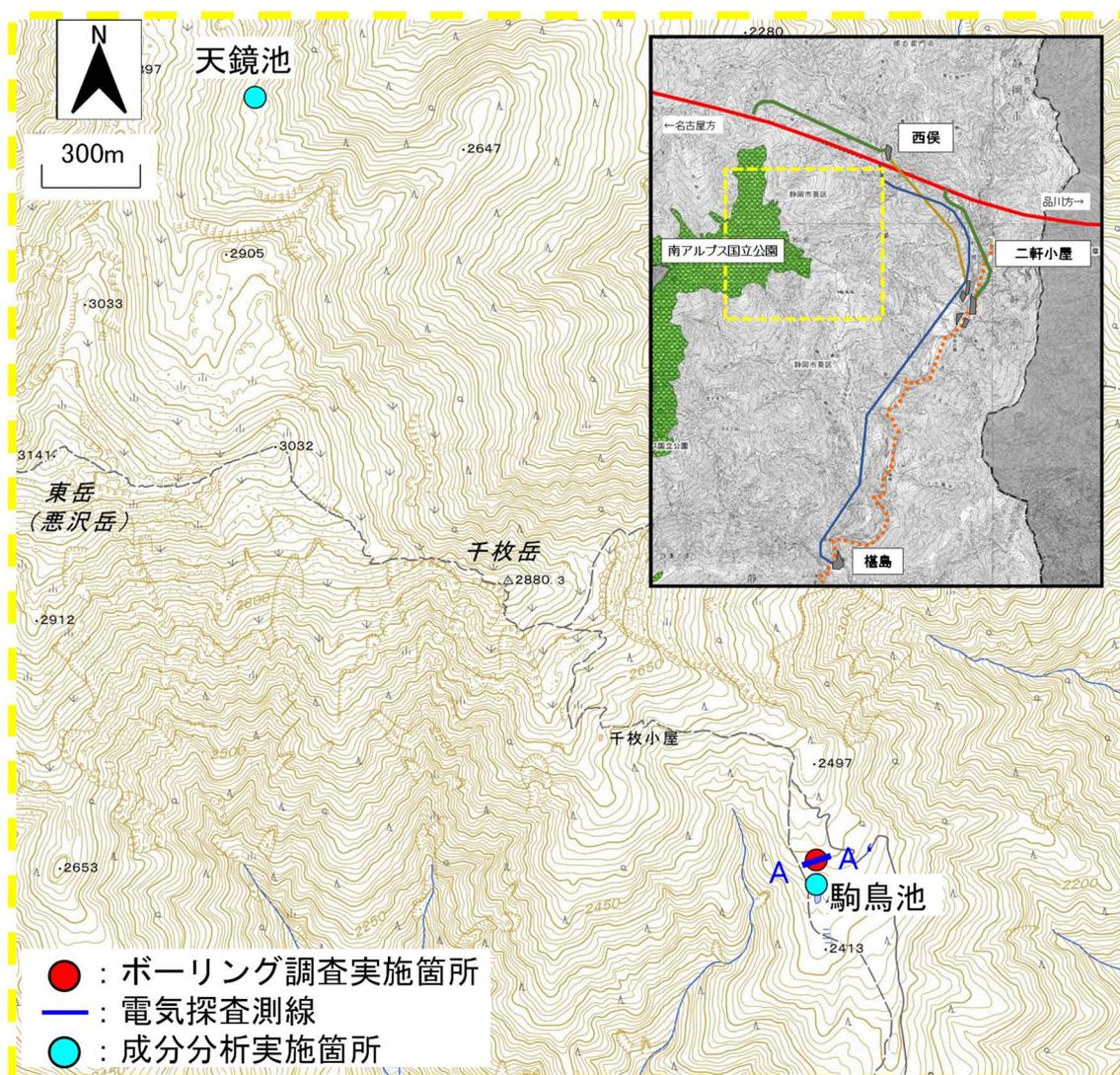


図 4.40 池の水に関する調査箇所

2) 調査の概要

① ボーリング調査

- ・駒鳥池付近における地質状況や地下水状況等を確認するため、鉛直下向きのオールコアボーリング（削孔径： $\phi 86.0\text{mm}$ ）を実施しました。



図 4.41 ボーリング調査実施状況（駒鳥池付近）

② 電気探査

- ・駒鳥池付近における地質状況の面的な広がりや地下の比抵抗分布から確認するために、探査対象深度 10.0～15.0m 程度、測線延長 50.0m 程度、電極間隔 1.0m の電気探査を実施しました。



図 4.42 電気探査実施状況（駒鳥池付近）（左：始点側、右：終点側）

③ 化学的な成分分析

- ・駒鳥池、天鏡池の水は、トンネル掘削箇所付近の地下深部の地下水に起因するものではなく、比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であるということを確認するために池の水を採水し、化学的な成分分析を実施しました。
- ・今回の分析結果の考察を行うにあたり、以前に実施した計画路線近傍の深井戸（田代ダム付近）の地下水の成分分析結果も合わせてお示しします。
- ・なお、現在、高標高部の降水や土壌水の成分分析も実施しており、結果がまとまり次第、ご報告することを考えています。
- ・成分分析の分析項目及び概要を表 4.3 に、現地調査期間を表 4.4 にお示しします。

表 4.3 成分分析の項目及び概要

分析項目	概要
a) 溶存イオン	地下水は流動する箇所の地質状況などに影響を受け、さまざまな化学物質が溶け込んでおり、水循環の過程において、その組成を変化させていきます。溶存イオン分析では、主要溶存イオン（ナトリウム、カリウム、カルシウム等）の組成を、各イオン同士の濃度割合や全体的な濃度の高さ等により整理し、水の起源（浅層地下水・深層地下水、温泉水等）の可能性を推定するものです。
b) 酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ・ δD ）	元素には中性子数が異なる同位体が存在し、放射壊変 ¹⁰ することなく安定しているものを安定同位体といいます。その同位体の存在比率は、蒸発、凝結等の相変化に伴い変化します。雨水の酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ・ δD ）は標高が高いほど低くなること、地中ではあまり変化しないこと、を利用して水の平均的な涵養標高（雨水が地下に涵養した標高）を推定するものです。
c) 不活性ガス等	不活性ガス（ SF_6 （六フッ化硫黄）等）や放射性同位体（トリチウム等）は、大気中、または降水中の濃度が年代とともに変動していること、地中では安定的であること、を利用して水の滞留時間を推定するものです。

表 4.4 成分分析の現地調査期間（池の水）

調査地点	調査期間	備考
駒鳥池	令和4年9月17日	採水標高：2,412m
天鏡池	令和4年9月16日	採水標高：2,682m
【参考】深井戸（田代ダム付近）	令和2年8月10日	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

¹⁰ 放射壊変：原子核が放射線を出すことにより他の安定な原子核に変化する現象

3) 調査結果と考察について

① 駒鳥池付近での調査結果と考察について

<調査結果>

a) 文献調査(駒鳥池周辺の地質や地形等)

- ・線状凹地の地質について、文献¹¹にて以下の通り記載されています。

以下、文献（抜粋）

- ・線状凹地とは尾根周辺や山腹斜面に発達する線状の凹地のこと、尾根付近では、線状凹地の両側に小規模な尾根が並走することになるので、二重（多重）山稜と呼ばれることもある。
- ・片側もしくは両側の山腹斜面が河川の浸食により急傾斜化すると、それより上方の斜面は不安定となり、自重によって側方に広がろうとする過程で、正断層が形成され、断層に沿って階段状にずり落ちたり、地構状の凹地を作る。
- ・線状凹地が形成されると、そこは周囲とは異なる環境になる。凹地は水はけが悪くなり、尾根上に池ができることがある。
- ・千枚登山道沿いの駒鳥池がその例である。

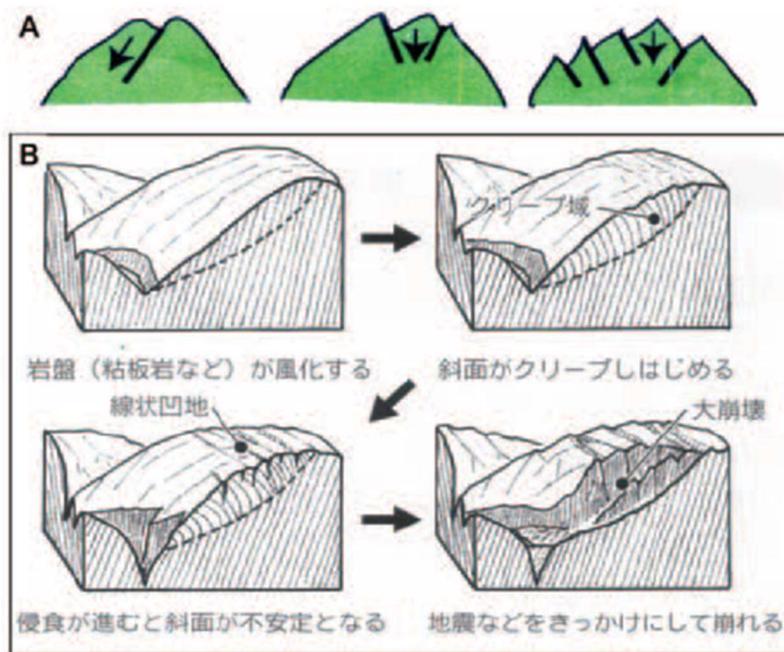


図4 線状凹地の形成を示す模式図。A：線状凹地の典型例。B：河川の側方浸食による山腹斜面の不安定化，稜線付近での線状凹地形成，深層崩壊，稜線の平坦化過程を示す模式図（村松，2001）。

図 4.43 文献調査結果（線状凹地）

¹¹ 南アルプス南部，大井川上流部のジオサイト・ジオツアーガイド（狩野謙一、伊藤圭太）、静岡大学地球科学研究報告第42号（2015年7月）85頁～107頁（抜粋）

- ・また、駒鳥池周辺の地形図及び周辺斜面の状況を図 4.4.4 にお示しします。
- ・上記のとおり駒鳥池周辺は広域的には線状凹地とされており、詳細な微地形単位としては三方（駒鳥池の西側、北側、**東側**）が斜面に囲まれている谷頭凹地となっています。
- ・『水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—』（恩田・奥西・飯田・辻村、1996年）によりますと、この谷頭凹地は「土壌の発達が比較的良好、B層・C層あわせて厚さが1mを超すことも珍しくない。その多くは斜面上方からゆっくりと移動あるいは崩落してきたものであり、埋没A層がみられることもある。これら谷頭凹地の土壌は、斜面の土層中を浸透・移動してきた水分により、一般的に湿っている。」とされています。
- ・以上のことから、駒鳥池は、周辺斜面からゆっくりと移動あるいは崩落してきた土壌が凹地に堆積し、また周辺斜面の土層中を浸透・移動してきた水が水路として流れることなく※、凹地に溜まったことにより形成されている可能性が考えられます。

※『水文地形学—山地の水循環と地形変化の相互作用—』において、「谷頭凹地の下流端付近では、土層が再び小崩壊を起こし、そこから水路が始まっている例が、しばしばみられる。」とされています。

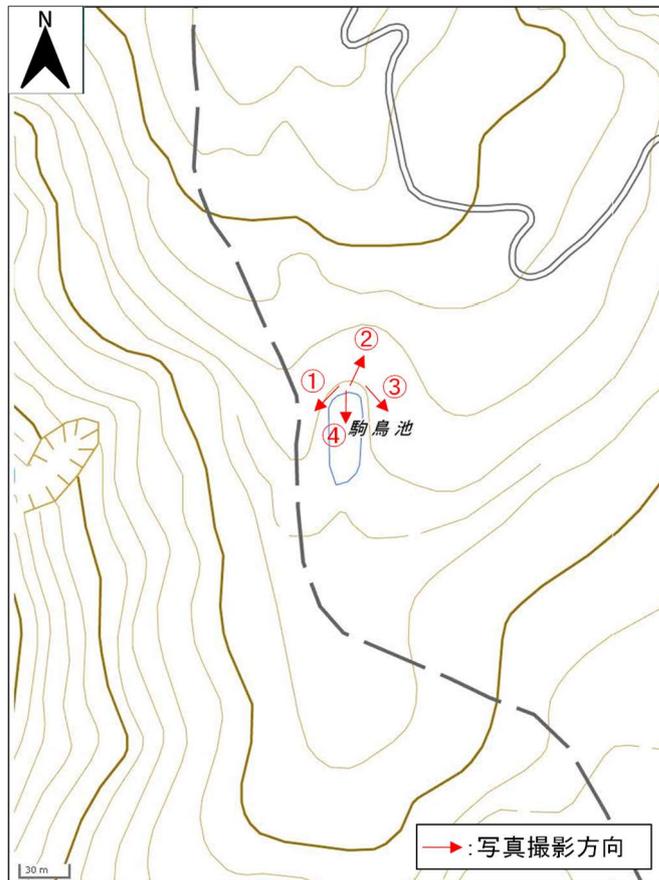


図 4.4.4 駒鳥池周辺の地形図



図 4.4.5 駒鳥池周辺の状況

b) ボーリング調査

- ・ボーリング調査によって得られたコアを確認すると、GL-0.00m～0.35m で高有機質土が確認されており、その下層には GL-0.35m～1.35m で礫混じり粘土、その下層には GL-1.35m～6.30m で玉石混じり砂礫、GL-6.30m～19.60m で粘板岩が確認されました(図 4.46)。
- ・掘削作業中は地下水位を調べるため、作業終了後に孔内に溜まった削孔水を抜き出し、翌日の作業開始時に孔内水位の変化を確認しました(図 4.47)。
- ・その結果、図 4.46 に示す① (GL-1.30m～3.24m 掘削段階)、② (GL-4.43m～6.43m 掘削段階)、③ (GL-6.43m～8.70m 掘削段階) においては、前日の作業終了時と比較して孔内水位の上昇が確認されました。
- ・次に、③において孔内水位の上昇を確認して以降(掘削深度 GL-8.70m 以降)は、安定した地下水位の位置を確認するために作業終了時に孔内に溜まった削孔水を抜き出さずに、作業開始時の孔内水位を確認しました。
- ・掘削中 (GL-8.70m～19.15m) の孔内水位は GL-8.22～9.00m 間を推移し、掘削完了後4日間の孔内水位は GL-8.69～9.41m 間を推移したことから、安定した地下水位は GL-9m 程度にあると考えられます。
- ・なお、①、②、③においては、前日の作業終了時と比較して孔内水位の上昇が確認されましたが、これは地層の境界付近で局所的に存在する地下水が確認されたものと考えています。

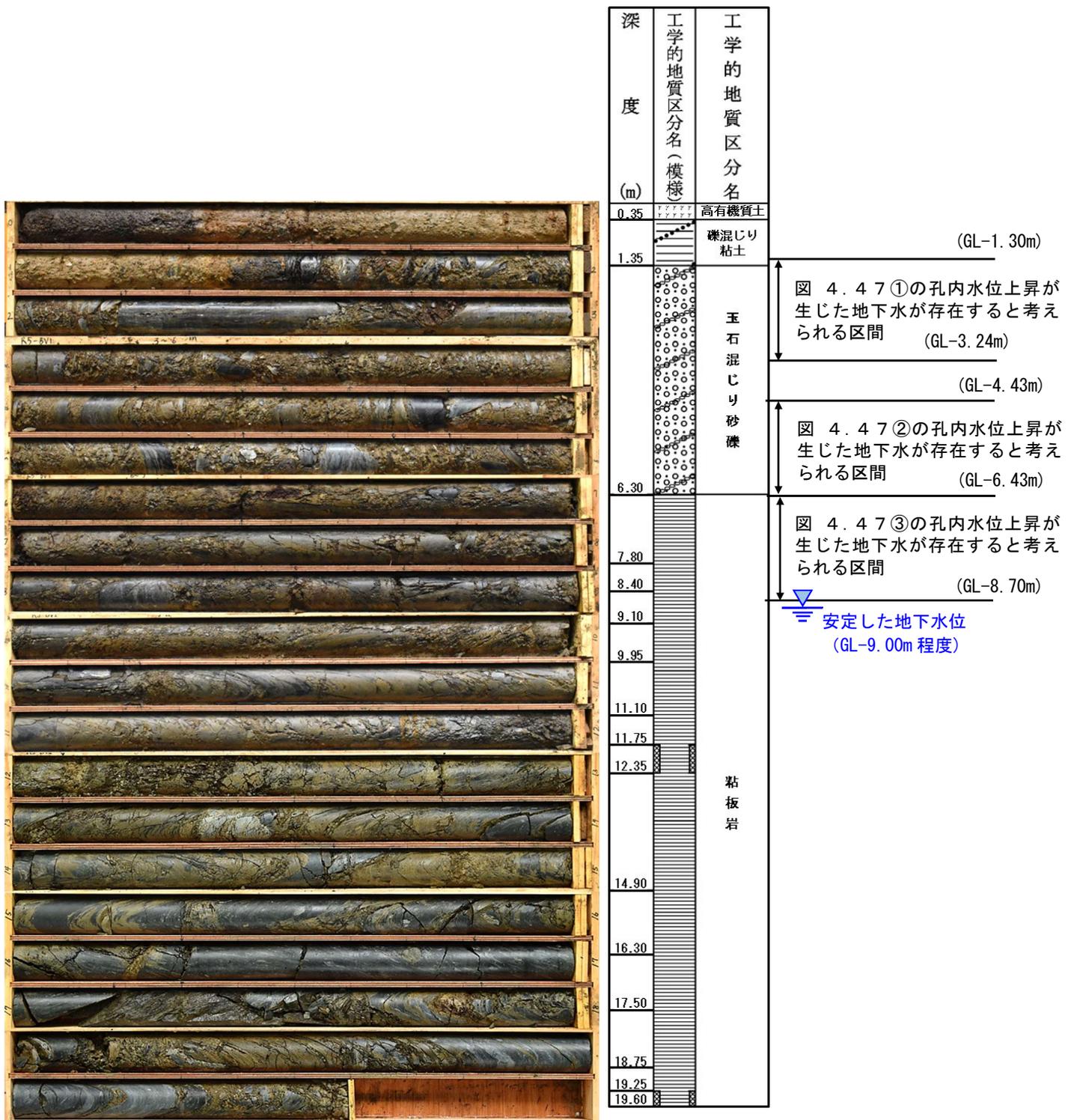
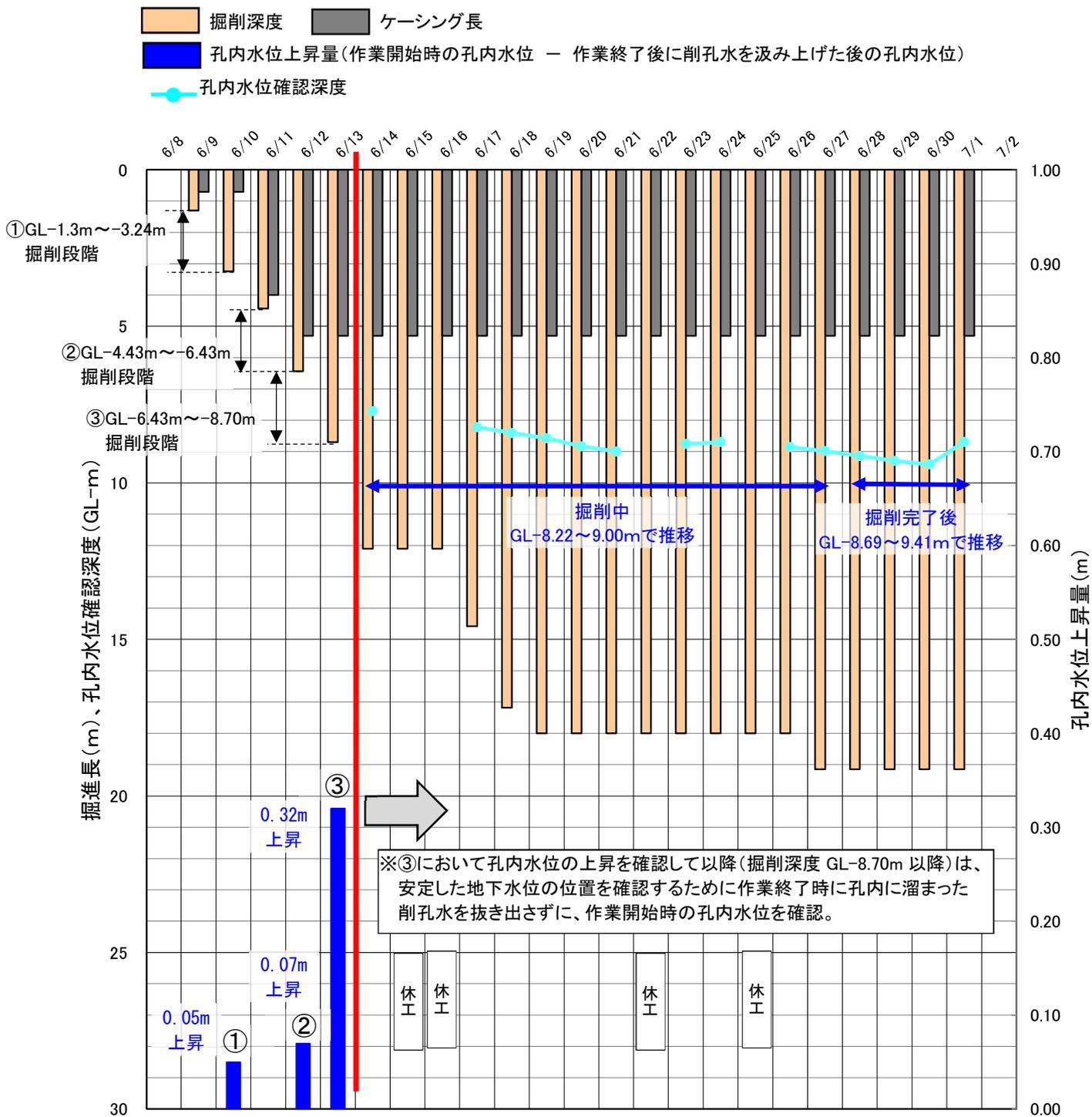


図 4.46 ポーリングコア写真及び柱状図 (駒鳥池付近)



・下記の区間の掘削段階では、局所的に存在する地下水によるものと考えられる孔内水位上昇が確認された。

- ①GL-1.30m~-3.24m: 孔内水位が 0.05m 上昇
- ②GL-4.43m~-6.43m: 孔内水位が 0.07m 上昇
- ③GL-6.43m~-8.70m: 孔内水位が 0.32m 上昇

・③において孔内水位の上昇を確認して以降は、掘削中(GL-8.70m~19.15m)の孔内水位は GL-8.22~9.00m 間を推移し、掘削完了後4日間の孔内水位は GL-8.69~9.41m 間を推移したことから、安定した地下水位は GL-9m 程度にあると考えられる。

図 4.47 ボーリング掘削状況、孔内水位状況(駒鳥池付近)

c) 電気探査

- 電気探査の結果は、600～20000 Ωm の 21 色で色区分表示し、電気の流れやすい低比抵抗領域を寒色系（青色系）、電気の流れにくい高比抵抗領域を暖色系（赤色系）で表示しています。
- 電気探査の結果、距離程 27.0～34.0m 付近に低比抵抗部が確認されており、ボーリング調査の結果と照らし合わせると、これは厚さ 1.0～2.0m 程度の粘土層であると考えられます。
- また、粘土層の下層に高比抵抗部が確認されており、ボーリング調査の結果と照らし合わせると、これは玉石混じり砂礫および粘板岩であると考えられます。

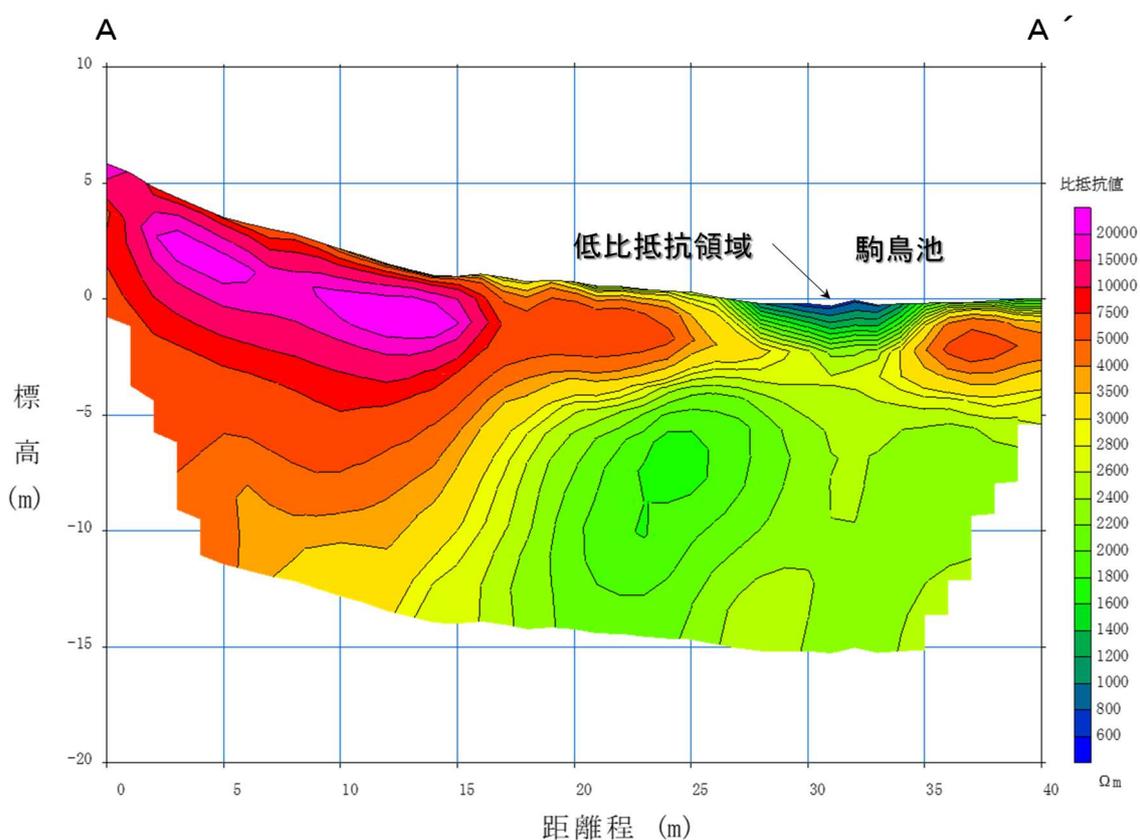


図 4.48 電気探査結果（駒鳥池付近）

d) 化学的な成分分析

- ・成分分析の結果を図 4.49、表 4.5～表 4.8にお示しします。

(溶存イオン分析、pH、ECの計測結果)

- ・溶存イオン分析の結果、駒鳥池の水の各イオン濃度は非常に少なく、一般的に地表水や浅層地下水に見られるようなカルシウムイオン (Ca^{2+}) と重炭酸イオン (HCO_3^-) の濃度が卓越した水質特性を示しました。また、pHは5.1で弱酸性を示し、電気伝導度ECは1.9mS/mとなりました。
- ・一方、計画路線近傍の深井戸(田代ダム付近)では、一般的に滞留時間の長い地下水に見られるようなカルシウムイオン (Ca^{2+}) とマグネシウムイオン (Mg^{2+}) の濃度が極端に少なく、ナトリウムイオン (Na^+) と重炭酸イオン (HCO_3^-) 濃度が卓越した水質特性を示しました。また、pHは9.1で弱アルカリ性を示し、電気伝導度ECは182.0mS/mとなり、駒鳥池の値と比較して非常に高い値となりました。

(不活性ガス等分析の結果)

- ・六フッ化硫黄 (SF_6) 及びトリチウム分析の結果、駒鳥池の水の滞留時間は約0～10年程度と推定されました。
- ・一方、深井戸(田代ダム付近)の平均涵養標高留時間は約60年以上と推定され、駒鳥池の水と比較して滞留時間は長い結果となりました。

(酸素・水素安定同位体比分析の結果)

- ・酸素・水素安定同位体比分析の結果、 $\delta^{18}\text{O}$ と δD との関係を整理すると、大井川流域の一定の標高ごとの湧水で実施した結果とは異なる状況を示し、池の水の蒸発等による影響が考えられたことから、地下水涵養線¹²を用いた平均涵養標高は算出していません(詳細は、「(巻末)大井川流域の湧水の酸素・水素同位体比の分析結果について」ご参照)。

(まとめ)

- ・以上の分析結果から、駒鳥池の水は比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であると考えられます。

¹² 地下水涵養線：大井川流域の地形的に集水域が限定された湧水地点を一定の標高ごとに設定し、各湧水の集水域の平均標高と同位体比との関係から作成した回帰直線のこと。



※酸素・水素安定同位体比の計測の結果、池の水の蒸発等による影響を受けている可能性が考えられたことから、地下水涵養線を用いた平均涵養標高は算出していません。

図 4.49 成分分析の計測結果まとめ (駒鳥池)

表 4.5 成分分析の計測結果（溶存イオン）：駒鳥池

調査地点	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	備考
駒鳥池	0.1	0.9	1.1	0.2	0.6	2.3	<0.1	<0.4	採水標高：2,412m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	380.0	5.2	1.2	0.1	130.0	760.0	0.3	<0.4	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.6 成分分析の計測結果（pH、EC、水温）：駒鳥池

調査地点	pH	電気伝導度 EC (mS/m)	水温 (°C)	備考
駒鳥池	5.1	1.9	11.9	採水標高：2,412m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	9.1	182.0	10.8	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.7 成分分析の計測結果（不活性ガス等）：駒鳥池

調査地点	S F ₆		トリチウム		備考
	濃度 (pptv)	滞留時間*	濃度 (TU)	滞留時間*	
駒鳥池	7.7	約 13 年	2.45	約 0～10 年	採水標高：2,412m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	0.4	約 47 年	0.3 未満	約 60 年以上	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※ 地下水や池の水に含まれる S F₆ やトリチウム濃度を計測し、公表されている濃度－年代の関係曲線をもとに滞留時間を推定した。なお、大気中の S F₆ 濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中の S F₆ 濃度を計測し、公表されている濃度－年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

表 4.8 成分分析の計測結果（酸素・水素安定同位体）：駒鳥池

調査地点	δ D (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	平均涵養標高	備考
駒鳥池	(-72.17)	(-10.31)	-※ ¹	採水標高：2,412m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	-92.38	-13.15	約 1,700m※ ²	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※¹ 酸素・水素安定同位体比の計測の結果、池の水の蒸発等による影響を受けている可能性が考えられたことから、地下水涵養線を用いた平均涵養標高は算出していない。

※² 地下水涵養線を用いて地下水の平均涵養標高を推定した。

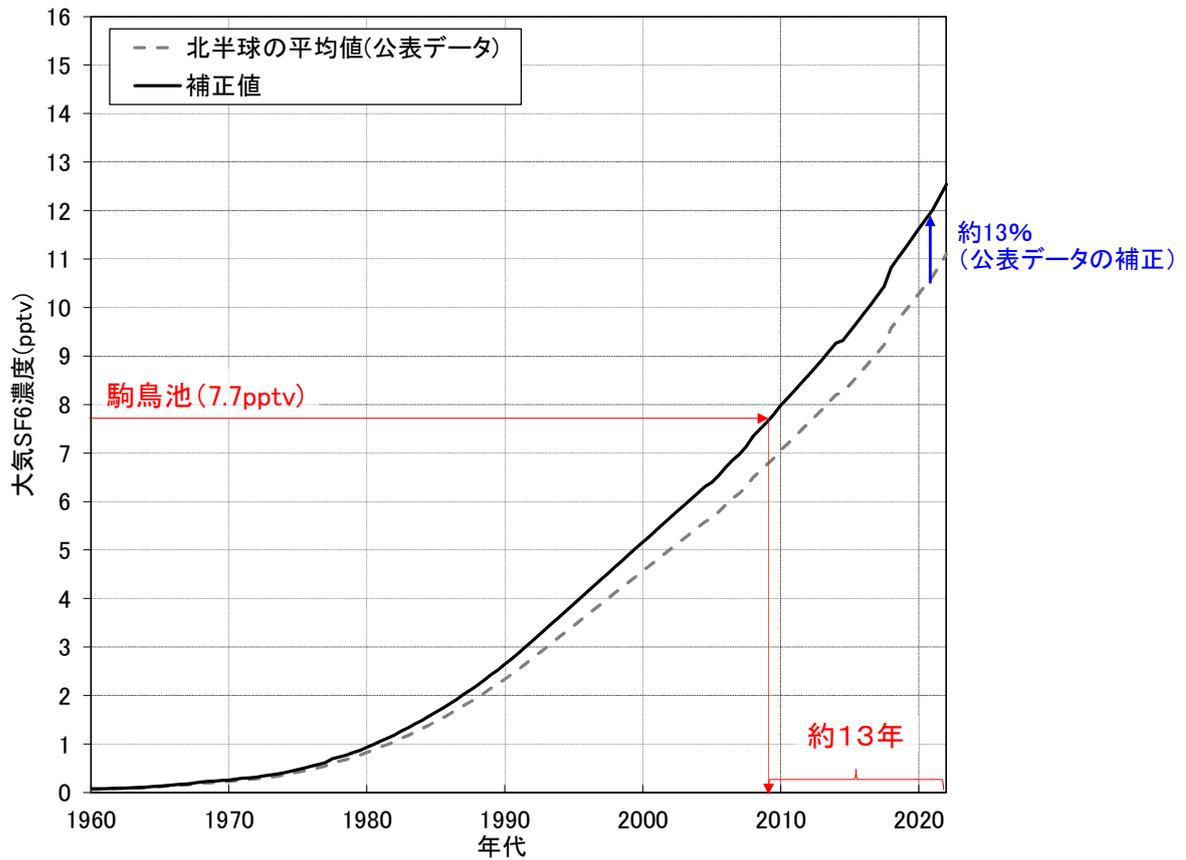


図 4.50 SF₆による滞留時間の分析 (駒鳥池)

※大気中のSF₆濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中のSF₆濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

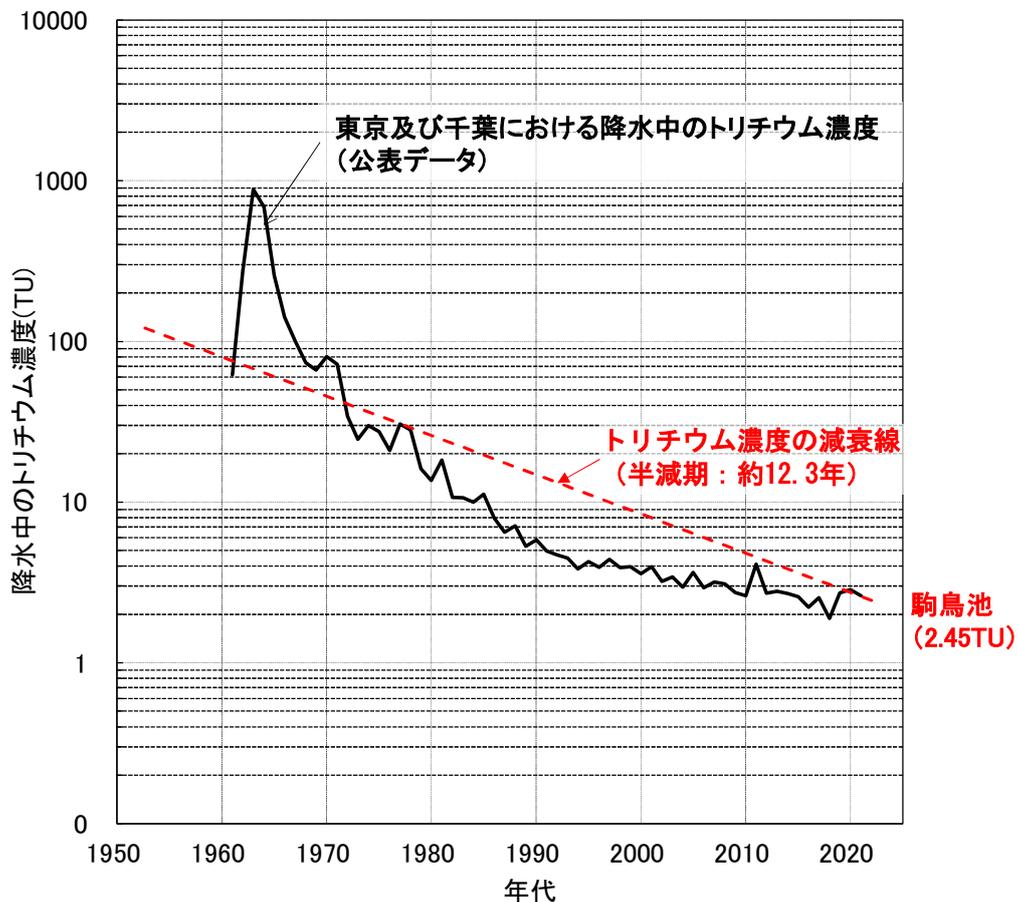


図 4.51 トリチウムによる滞留時間の分析 (駒鳥池)

<考察>

- ・第19回リニア中央新幹線静岡工区有識者会議でご説明した駒鳥池付近の想定地質状況は以下の通りです。

[第19回リニア中央新幹線静岡工区有識者会議資料の再掲]

- ・駒鳥池においては、地表面付近に水はけの悪い層（粘土層等）が存在し、その上部に水が溜まっていると想定しています。また、水はけの悪い層（粘土層等）の下層には、風化帯等が存在することを想定しています。（下図）
- ・ボーリング調査の結果、水はけの悪い層の下層の風化帯等において不飽和帯が確認できれば、池の水と深部の地下水は直接的にはつながっていないと考えられます。

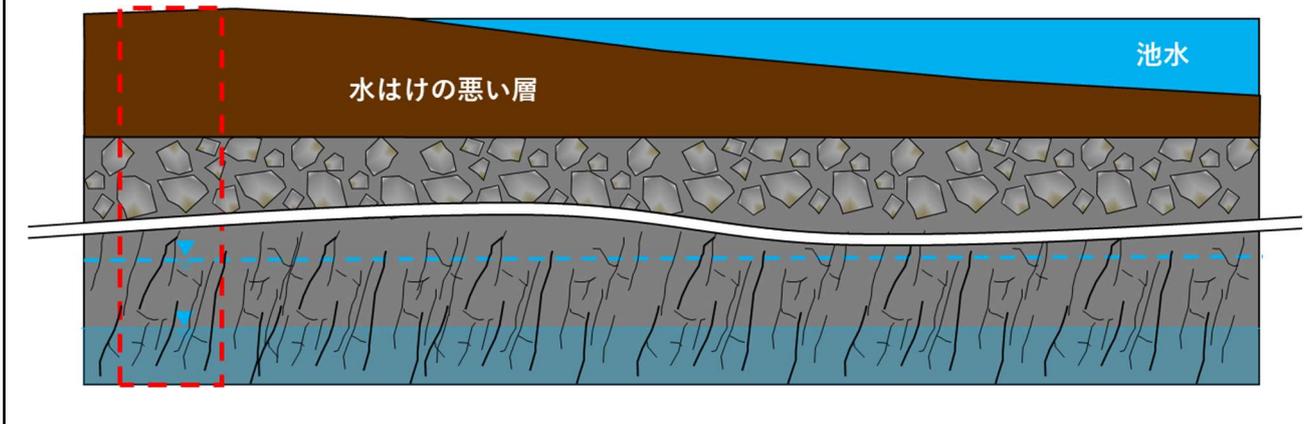


図 4.52 駒鳥池付近で想定される地質や地下水の帯水状況

- ・ボーリング調査の結果、想定していたとおり、地表面付近の GL-0.35m～1.35m で水はけの悪い層（礫混じり粘土）が確認され、その下層には GL-1.35m～6.30m で玉石混じり砂礫、GL-6.30m～19.60m で粘板岩が確認されました。また、電気探査の結果から、ボーリング調査で確認した地質状況の面的な広がりを確認しました。
- ・地下水位については、安定した地下水位は地表面から GL-9.00m 程度にあると考えられます。
- ・また、化学的な成分分析の結果、駒鳥池の水はトンネル掘削箇所付近の地下深部に起因するものではなく、比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であると考えられます。
- ・以上のことから、駒鳥池の水は比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水が水はけの悪い層の上部に溜まったものと考えられるため、駒鳥池の水とトンネル掘削箇所付近の深部の地下水は直接的にはつながっていないと考えられます。

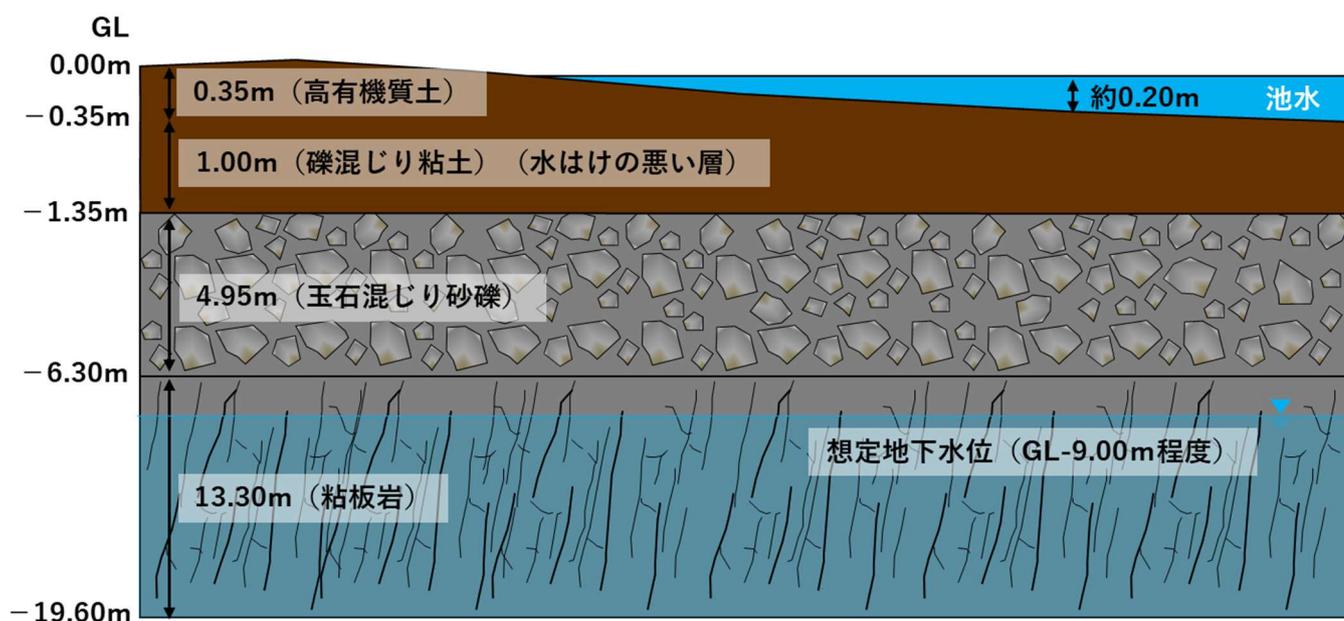


図 4.53 駒鳥池付近の調査結果を踏まえた地質や地下水の帯水状況

【補足】追加調査孔掘削

- ・ボーリング調査の結果から、駒鳥池の水は、地表面付近の GL-0.35～1.35m で確認された水はけの悪い層（礫混じり粘土）の上部に溜まったものと考えられます。
- ・この水はけの悪い層の分布状況を確認するため、図 4.54 の通り、ボーリング調査を実施した箇所から駒鳥池にかけて、一定間隔で調査孔（直径は孔底で約 20cm、地表面で約 30cm～50cm）を掘削し、地質状況と孔内水位の変化を確認しました。
- ・各調査孔における掘削深度、地質状況、孔内水位を表 4.9 にお示しします。

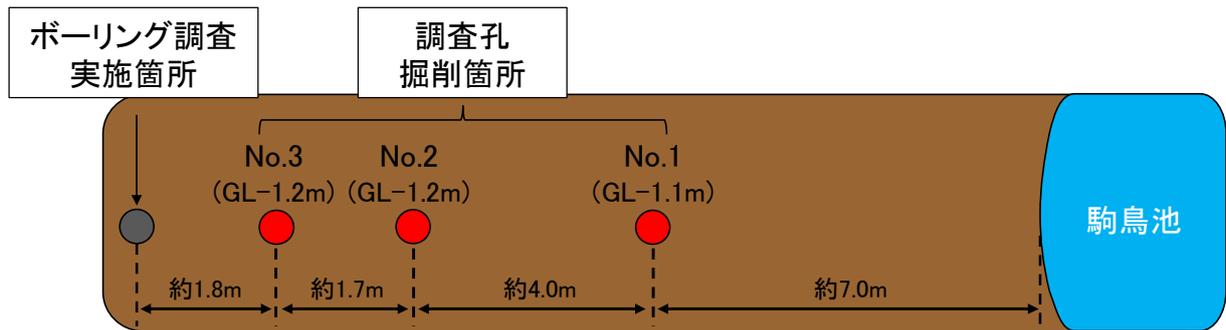


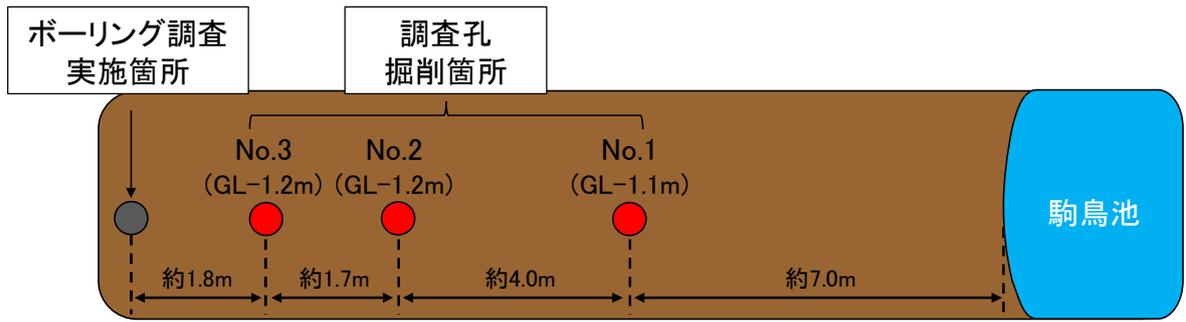
図 4.54 追加調査孔掘削箇所平面図（駒鳥池付近）

表 4.9 各調査孔における掘削深度、地質状況、孔内水位状況（駒鳥池付近）

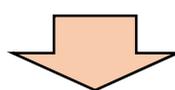
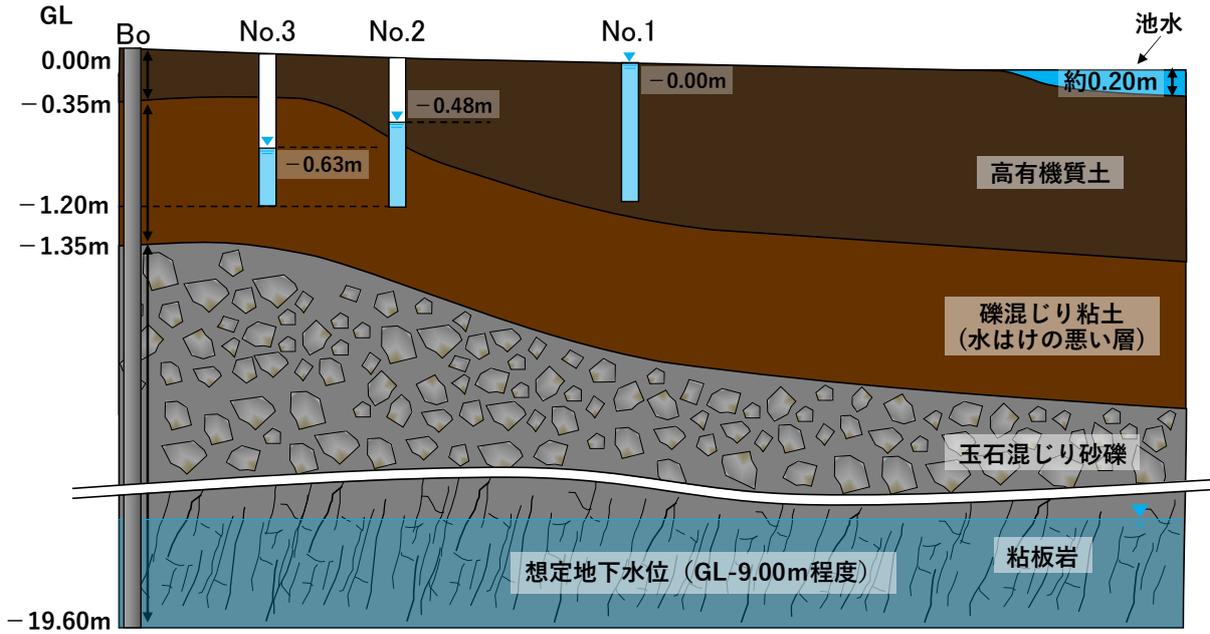
調査孔 No.	掘削深度 (m)	地質状況	孔内水位 (m)	
			2023年8月19日	2023年8月20日
No.1	GL-1.10m	～GL-1.10m：高有機質土	GL-0.00m	GL-0.00m
No.2	GL-1.20m	～GL-0.60m：高有機質土 ～GL-1.20m：礫混じり粘土	GL-0.48m	GL-0.12m
No.3	GL-1.20m	～GL-0.20m：高有機質土 ～GL-1.20m：礫混じり粘土	GL-0.63m	GL-0.84m

※調査孔の掘削は2023年8月18日に完了

- ・最も駒鳥池に近い調査孔 No. 1 では、地表面付近の高有機質土層が、ボーリング調査箇所を確認された厚さより厚く確認されました。孔内水位は、掘削した翌日および翌々日ともに GL-0.00m であり、高有機質土とその下部にあると考えられる礫混じり粘土によって、地下水位が保持されていると考えられます。
- ・調査孔 No. 2 においても、地表面付近の高有機質土層は、ボーリング調査箇所を確認された厚さより厚く、掘削した翌々の孔内水位が GL-0.12m と高いことから、この地点においても高有機質土とその下部にあると考えられる礫混じり粘土によって、地下水位が保持されていると考えられます。
- ・一方で、調査孔 No. 3 については、地質状況はボーリング調査箇所と類似しており、孔内水位を確認すると、掘削した翌日と比較し、翌々は孔内水位が低下しています。これは、調査孔の底部より下部に存在すると考えられる礫混じり粘土の厚さが薄いことにより、孔内水位を保持できない状況であると考えられます。
- ・以上のことから、改めて、駒鳥池の水は、一定の厚さを持った高有機質土や礫混じり粘土といった水はけの悪い層の上部に溜まったものであると考えられます。



2023年8月19日時点



2023年8月20日時点

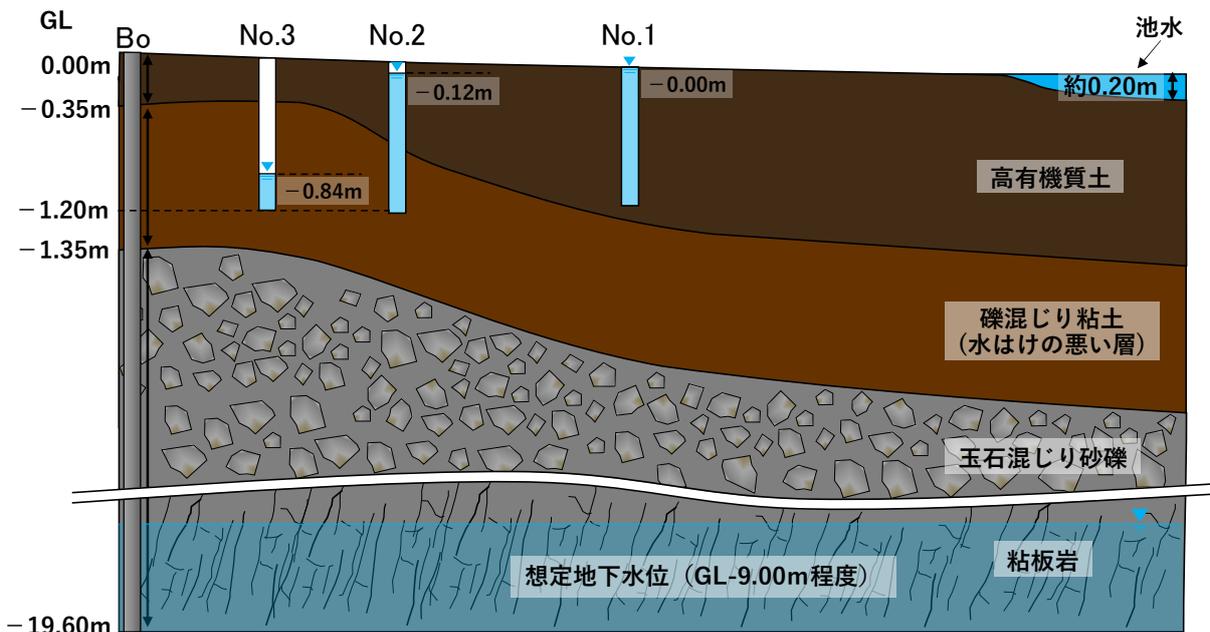


図 4.55 駒鳥池付近の調査結果を踏まえた想定地質と孔内水位状況

② 天鏡池付近での調査結果と考察について

<化学的な成分分析の調査結果>

(溶存イオン分析、pH、ECの計測結果)

- ・溶存イオン分析の結果、天鏡池の水の各イオンの濃度は非常に少なく、そのなかでも重炭酸イオン (HCO_3^-) の濃度が比較的多い結果となりました。また、pHは5.6で弱酸性を示し、電気伝導度ECは0.4mS/mとなりました。
- ・一方、計画路線近傍の深井戸（田代ダム付近）では、一般的に滞留時間の長い地下水に見られるようなカルシウムイオン (Ca^{2+}) とマグネシウムイオン (Mg^{2+}) の濃度が極端に少なく、ナトリウムイオン (Na^+) と重炭酸イオン (HCO_3^-) 濃度が卓越した水質特性を示しました。また、pHは9.1で弱アルカリ性を示し、電気伝導度ECは182.0mS/mとなり、天鏡池の値と比較して非常に高い値となりました。

(不活性ガス等分析の結果)

- ・六フッ化硫黄 (SF_6) 及びトリチウム分析の結果、天鏡池の水の滞留時間は約0~10年程度と推定されました。
- ・一方、深井戸（田代ダム付近）の平均涵養標高留時間は約60年以上と推定され、天鏡池の水と比較して滞留時間は長い結果となりました。

(酸素・水素安定同位体比分析の結果)

- ・酸素・水素安定同位体比分析の結果、 $\delta^{18}\text{O}$ と δD との関係を整理すると、大井川流域の一定の標高ごとの湧水で実施した結果とは異なる状況を示し、池の水の蒸発等による影響が考えられたことから、地下水涵養線を用いた平均涵養標高は算出していません（詳細は、「【参考資料1】大井川流域における湧水の酸素・水素同位体比の分析結果について」ご参照）。

<考察>

- ・以上の分析結果から、天鏡池の水は比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であると考えられます。



※酸素・水素安定同位体比の計測の結果、池の水の蒸発等による影響を受けている可能性が考えられたことから、地下水涵養線を用いた平均涵養標高は算出していません。

図 4.56 成分分析の計測結果まとめ：天鏡池

表 4.10 成分分析の計測結果（溶存イオン）：天鏡池

調査地点	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	備考
天鏡池	<0.1	0.6	0.2	<0.1	0.3	2.1	<0.1	<0.4	採水標高：2,682m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	380.0	5.2	1.2	0.1	130.0	760.0	0.3	<0.4	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.11 成分分析の計測結果（pH、EC、水温）：天鏡池

調査地点	pH	電気伝導度 EC (mS/m)	水温 (°C)	備考
天鏡池	5.6	0.4	14.9	採水標高：2,682m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	9.1	182.0	10.8	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.12 成分分析の計測結果（不活性ガス等）：天鏡池

調査地点	SF ₆		トリチウム		備考
	濃度 (pptv)	滞留時間※ ¹	濃度 (TU)	滞留時間※ ²	
天鏡池	8.5	約10年	2.37	約0~10年	採水標高：2,682m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	0.4	約49年	0.3未満	約60年以上	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※ 地下水や池の水に含まれるSF₆やトリチウム濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線をもとに滞留時間を推定した。なお、大気中のSF₆濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中のSF₆濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

表 4.13 成分分析の計測結果（酸素・水素安定同位体）：天鏡池

調査地点	δD (‰)	δ ¹⁸ O (‰)	平均涵養標高	備考
天鏡池	(-70.97)	(-9.80)	-※ ¹	採水標高：2,682m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	-92.38	-13.15	約1,700m※ ²	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※¹ 酸素・水素安定同位体比の計測の結果、池の水の蒸発等による影響を受けている可能性が考えられたことから、地下水涵養線を用いた平均涵養標高は算出していない。

※² 地下水涵養線を用いて地下水の平均涵養標高を推定した。

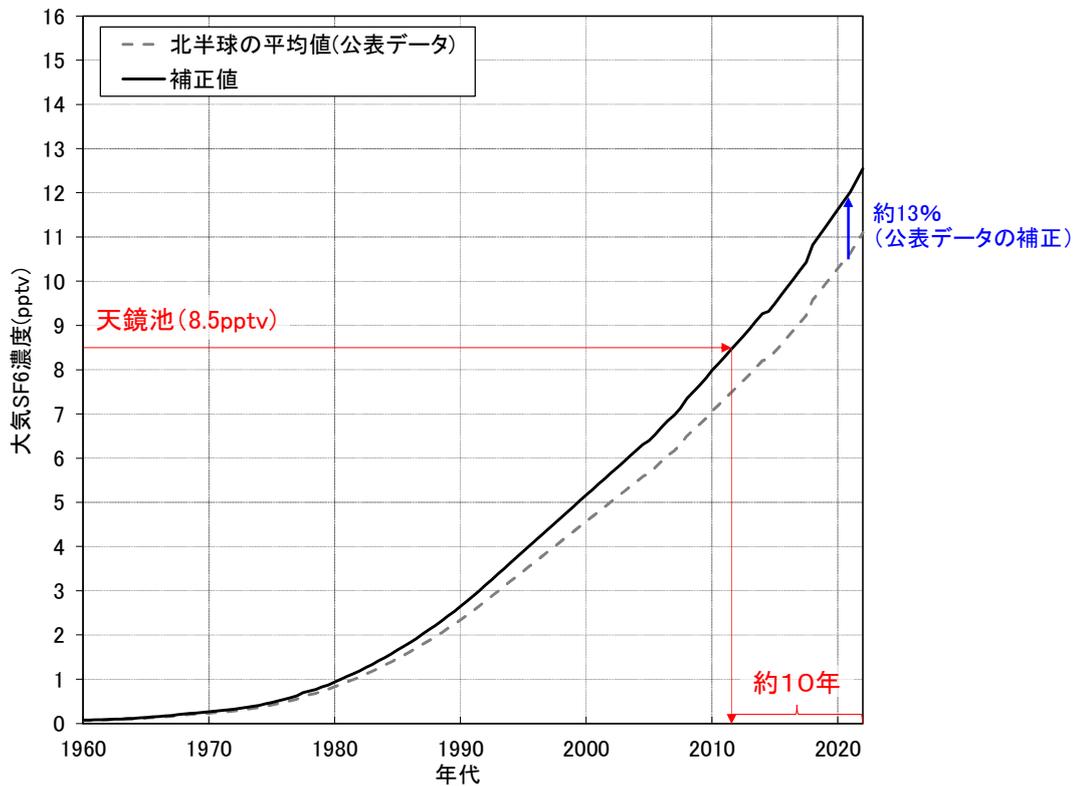


図 4.57 SF6 による滞留時間の分析 (天鏡池)

※大気中の SF₆ 濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中の SF₆ 濃度を計測し、公表されている濃度—年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

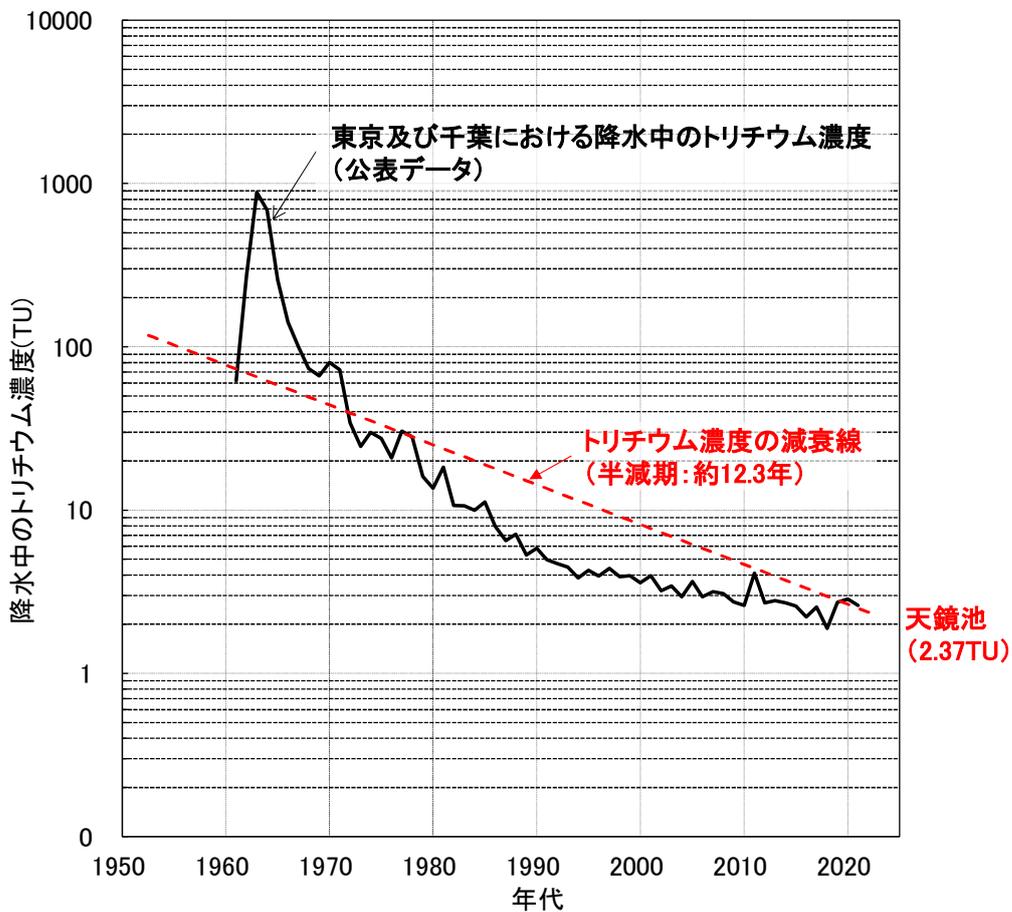


図 4.58 トリチウムによる滞留時間の分析 (天鏡池)

(3) 高標高部の湧水に関する分析

1) 調査対象箇所と調査項目

- ・調査箇所の位置平面図を図 4.59 にお示しします。

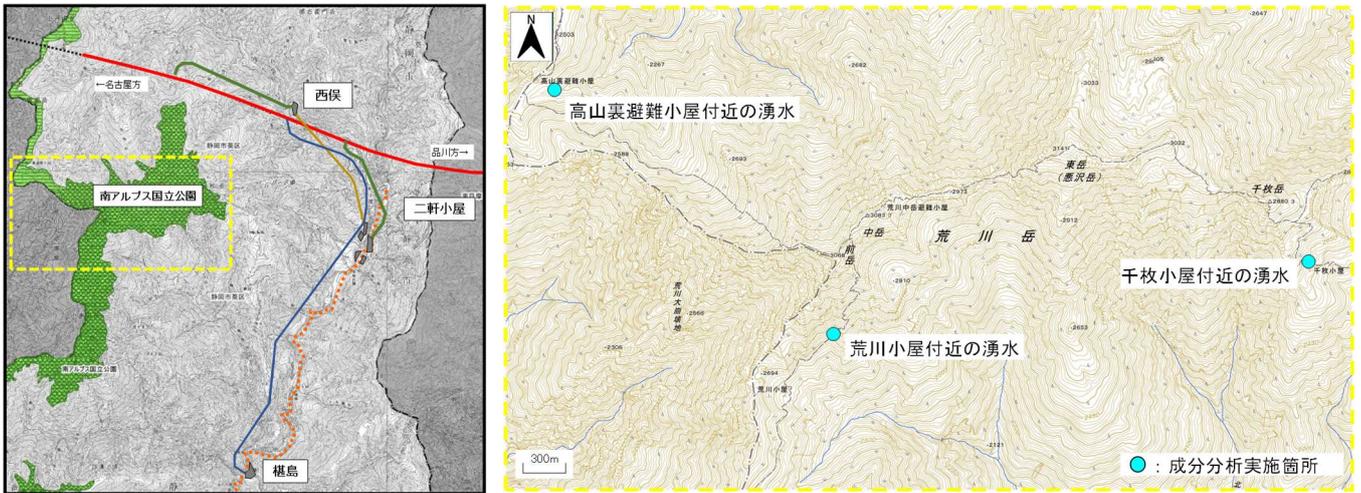


図 4.59 調査箇所 位置平面図 (湧水調査)

2) 調査の概要

(化学的な成分分析)

- ・高標高部の湧水は、トンネル掘削箇所付近の地下深部の地下水に起因するものではなく、比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であるということを確認するために湧水を採水し、化学的な成分分析を実施しました。
- ・今回の分析結果の考察を行うにあたり、以前に実施した計画路線近傍の深井戸（田代ダム付近）の地下水の成分分析結果も合わせてお示しします。
- ・成分分析の分析項目及び概要を表 4.14 に、現地調査期間を表 4.15 にお示しします。

表 4.14 成分分析の項目及び概要

分析項目	概要
a) 溶存イオン	地下水は流動する箇所の地質状況などに影響を受け、さまざまな化学物質が溶け込んでおり、水循環の過程において、その組成を変化させていきます。溶存イオン分析では、主要溶存イオン（ナトリウム、カリウム、カルシウム等）の組成を、各イオン同士の濃度割合や全体的な濃度の高さ等により整理し、水の起源（浅層地下水・深層地下水、温泉水等）の可能性を推定するものです。
b) 不活性ガス等	不活性ガス（SF ₆ （六フッ化硫黄）等）や放射性同位体（トリチウム等）は、大気中、または降水中の濃度が年代とともに変動していること、地中では安定的であること、を利用して水の滞留時間を推定するものです。

表 4.15 成分分析の現地調査期間（湧水）

調査地点	調査期間	備考
千枚小屋北側の湧水	令和4年9月17日	採水標高：2,641m
千枚小屋南側の湧水※	令和4年9月17日	採水標高：2,565m
荒川小屋付近の湧水	令和4年9月16日	採水標高：2,715m
高山裏避難小屋付近の湧水	令和4年9月17日	採水標高：2,370m
【参考】深井戸（田代ダム付近）	令和2年8月10日	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※千枚小屋南側の湧水は、現地で測定可能な水素イオン濃度（pH）、電気伝導度（EC）のみを実施。

3) 調査結果

- 成分分析の結果を図 4.60～図 4.62、表 4.16～表 4.18にお示しします。なお、池の水などの平均涵養標高を算出するための地下水涵養線¹³を作成するために、酸素・水素安定同位体比の計測も行っており、その結果については「【参考資料1】大井川流域の湧水の酸素・水素同位体比の分析結果について」に記載しています。

（溶存イオン分析、pH、ECの計測結果）

- 溶存イオン分析の結果、各湧水の各イオン濃度は非常に少なく、一般的に地表水や浅層地下水に見られるようなカルシウムイオン（Ca²⁺）と重碳酸イオン（HCO₃⁻）の濃度が卓越した水質特性を示しました。また、pHは7.0～7.9で中性を示し、電気伝導度ECは1.7～5.6mS/mとなりました。
- 一方、計画路線近傍の深井戸（田代ダム付近）では、一般的に滞留時間の長い地下水に見られるようなカルシウムイオン（Ca²⁺）とマグネシウムイオン（Mg²⁺）の濃度が極端に少なく、ナトリウムイオン（Na⁺）と重碳酸イオン（HCO₃⁻）濃度が卓越した水質特性を示しました。また、pHは9.1で弱アルカリ性を示し、電気伝導度ECは182.0mS/mとなり、各湧水の値と比較して非常に高い値となりました。

（不活性ガス等分析の結果）

- 六フッ化硫黄（SF₆）及びトリチウム分析の結果、各湧水の滞留時間は約10年と推定されました。
- 一方、深井戸（田代ダム付近）の平均涵養標高留時間は約60年以上と推定され、各湧水と比較して滞留時間は長い結果となりました。

¹³ 地下水涵養線：大井川流域の地形的に集水域が限定された湧水地点を一定の標高ごとに設定し、各湧水の集水域の平均標高と同位体比との関係から作成した回帰直線のこと。

4) 考察

- ・以上の分析結果から、各湧水は比較的短い滞留時間で地表付近を動いている水であると考えられます。
- ・各湧水の状況については、定期的に確認していきます。



図 4.60 成分分析の計測結果まとめ(千枚小屋付近の湧水)



図 4.61 成分分析の計測結果まとめ(荒川小屋付近の湧水)

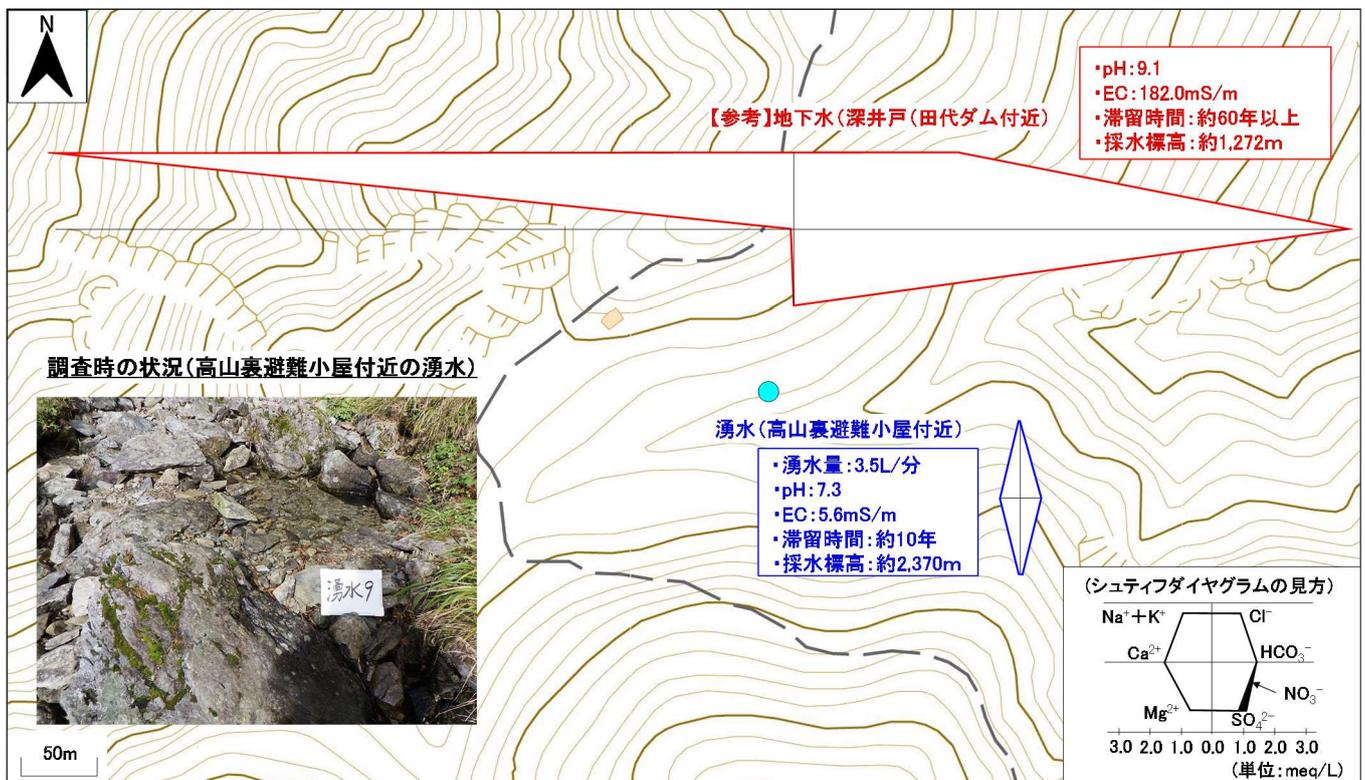


図 4.62 成分分析の計測結果まとめ(高山裏避難小屋付近の湧水)

表 4.16 成分分析の計測結果（溶存イオン）：各湧水

調査地点	Na ⁺ (mg/L)	K ⁺ (mg/L)	Ca ²⁺ (mg/L)	Mg ²⁺ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	HCO ₃ ⁻ (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	NO ₃ ⁻ (mg/L)	備考
千枚小屋北側の湧水	0.9	0.1	2.4	0.2	0.3	10.0	1.2	<0.4	採水標高：2,641m
荒川小屋付近の湧水	1.0	<0.1	2.8	0.1	0.3	11.0	1.6	<0.4	採水標高：2,715m
高山裏避難小屋付近の湧水	0.8	0.2	9.0	0.2	0.3	29.0	2.5	0.5	採水標高：2,370m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	380.0	5.2	1.2	0.1	130.0	760.0	0.3	<0.4	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.17 成分分析の計測結果（湧水量、pH、EC、水温）：各湧水

調査地点	湧水量 (L/分)	pH	電気伝導度 EC (mS/m)	水温 (°C)	備考
千枚小屋北側の湧水	3.8	7.0	2.1	5.4	採水標高：2,641m
千枚小屋南側の湧水	5.0	7.9	1.7	5.2	採水標高：2,565m
荒川小屋付近の湧水	14.1	7.0	2.3	6.0	採水標高：2,715m
高山裏避難小屋付近の湧水	3.5	7.3	5.6	4.5	採水標高：2,370m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)		9.1	182.0	10.8	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

表 4.18 成分分析の計測結果（不活性ガス等）：各湧水

調査地点	SF ₆		トリチウム		備考
	濃度 (pptv)	滞留時間※	濃度 (TU)	滞留時間※	
千枚小屋北側の湧水	8.7	約 10 年	3.22	約 0~50 年	採水標高：2,641m
荒川小屋付近の湧水	8.6	約 10 年	3.05	約 0~50 年	採水標高：2,715m
高山裏避難小屋付近の湧水	8.6	約 10 年	2.95	約 0~50 年	採水標高：2,370m
【参考】深井戸 (田代ダム付近)	0.4	約 47 年	0.3 未満	約 60 年以上	井戸深度：GL-256m 採水標高：1,272m

※ 地下水や池の水に含まれる SF₆ やトリチウム濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線をもとに滞留時間を推定した。なお、大気中の SF₆ 濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中の SF₆ 濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

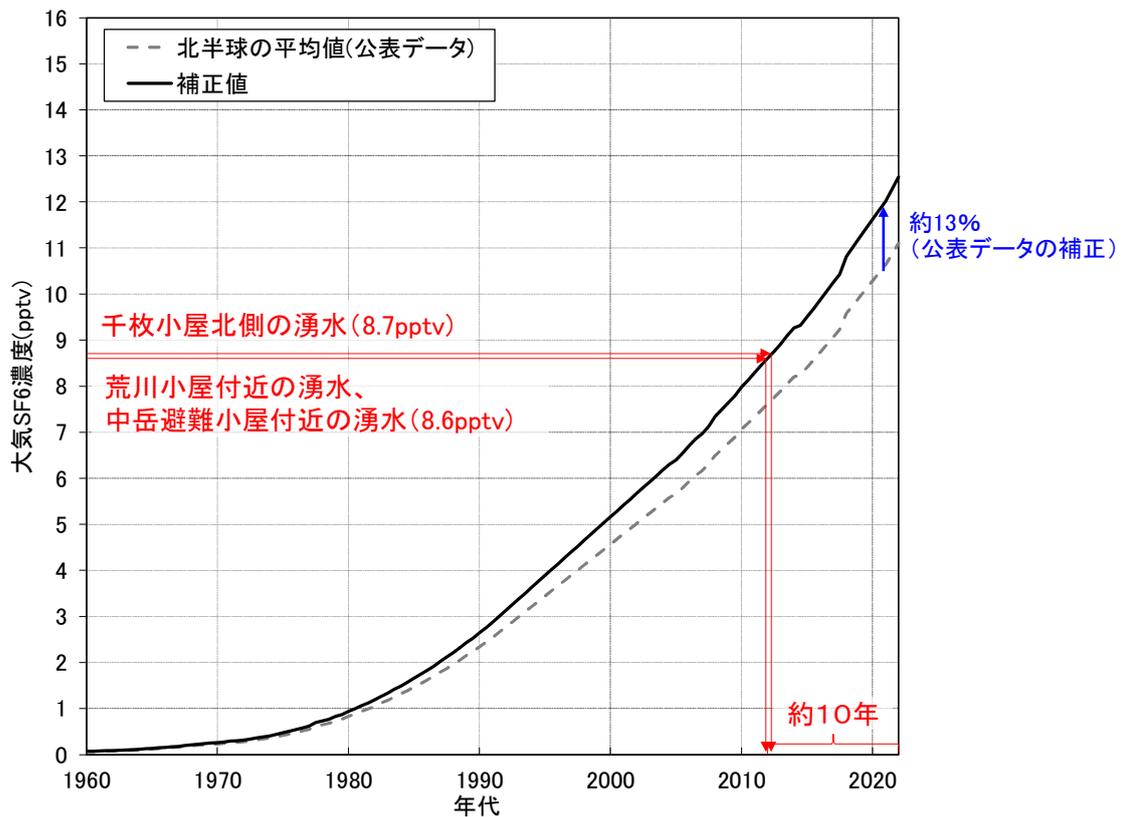


図 4.63 SF6 による滞留時間の分析 (各湧水)

※大気中の SF₆ 濃度は地域によってばらつきがあるとされていることから、大井川流域の大気中の SF₆ 濃度を計測し、公表されている濃度-年代の関係曲線を補正したうえで滞留時間を推定した。

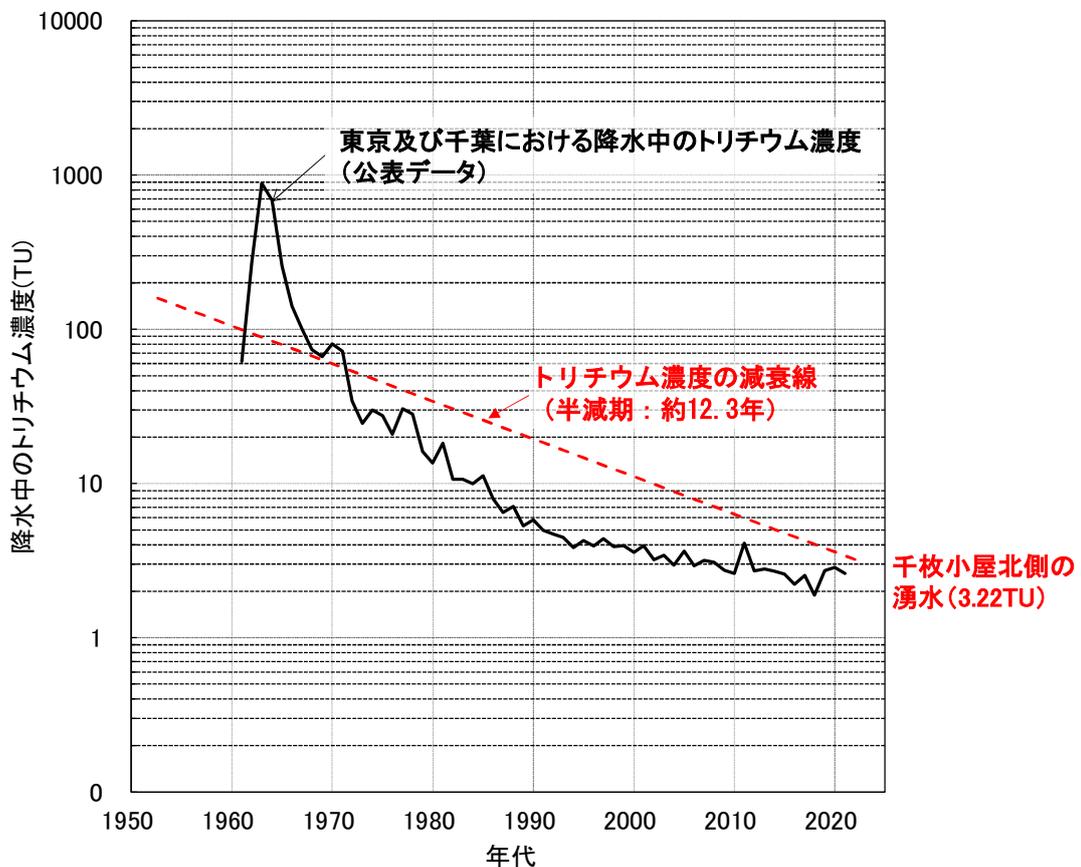


図 4.64 トリチウムによる滞留時間の分析 (千枚小屋北側の湧水)

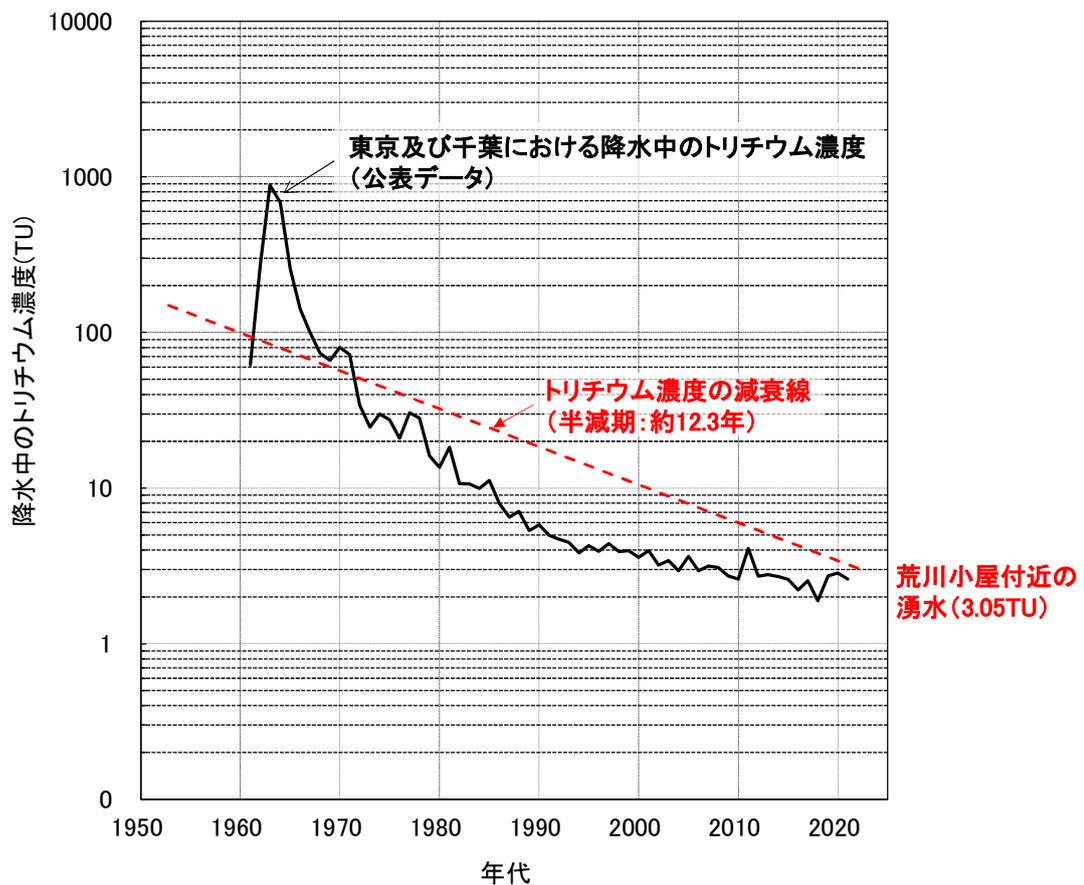


図 4.65 トリチウムによる滞留時間の分析 (荒川小屋付近の湧水)

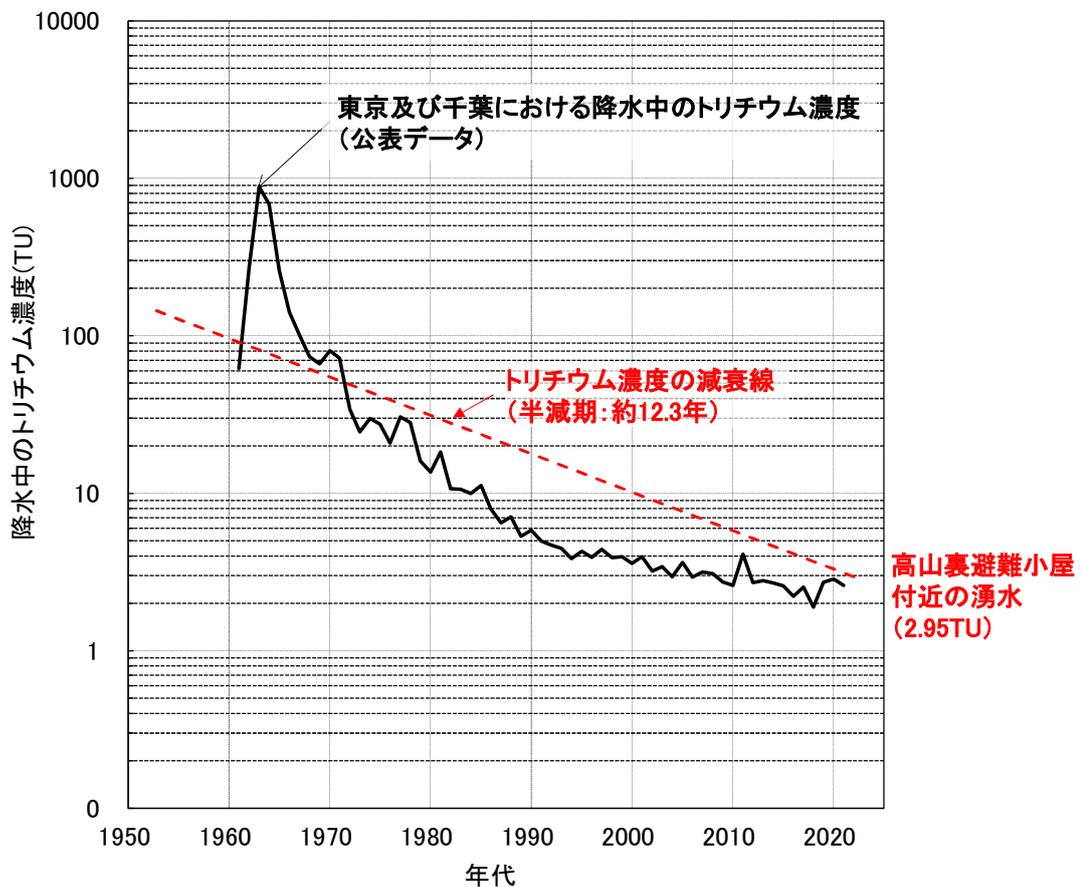


図 4.66 トリチウムによる滞留時間の分析 (高山裏避難小屋付近の湧水)

(4) 高標高部の植生等に関するモニタリング計画

- ・ 順応的管理の観点から、現地での調査・計測等を継続してまいります。
- ・ 高標高部の植生等に関する調査・計測計画について、表 4.19 と図 4.67 にお示しします。

表 4.19 調査・計測の対象と項目

対象	調査・計測項目
高標高部の植生	植生の状況、(土壌の体積含水率・pF 値) ¹⁴
高標高部の池の水	駒鳥池の水位
高標高部の湧水	湧水の量

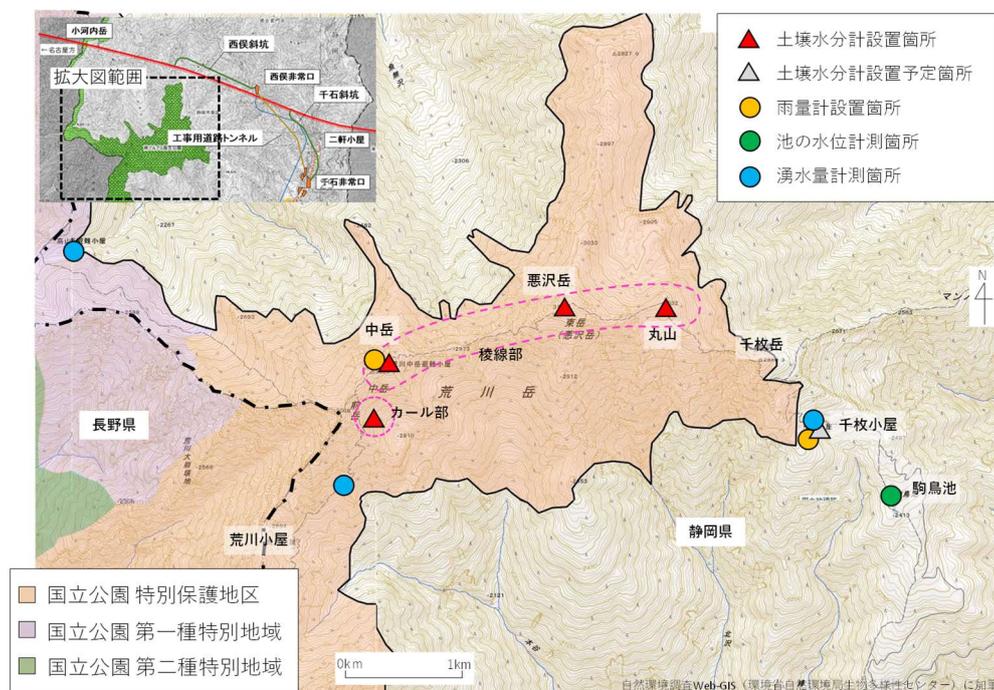


図 4.67 調査・計測箇所の位置図

- ・ 調査・計測等の結果を踏まえ、高標高部におけるモニタリング計画とその結果を踏まえた対応について検討してまいります。
- ・ 検討した内容については、今後構築する静岡県、静岡市、専門家等を交えた管理体制に報告し、ご意見を頂きながら進めることを考えています。

¹⁴ 現時点では、今回の土壌水分の調査結果を今後のモニタリングに活用できるかどうかは、判明しませんでした。引き続き、今回設置した土壌水分計による計測結果から明らかにできることを整理し、モニタリングに活用できるかどうか等の検討を深めてまいります。

【参考資料 1】大井川流域の湧水の酸素・水素安定同位体比の計測結果について

- ・今回実施した駒鳥池、天鏡池の計測結果のほか、同時期に実施した高標高部の湧水及び過年度に実施した大井川流域の湧水における酸素・水素同位体比の計測結果を表 4.20 にお示しします。
- ・また、 $\delta^{18}\text{O}$ を横軸、 δD を縦軸にとったグラフ (δ ダイアグラム) を図 4.68 にお示しします。一般的に、 $\delta^{18}\text{O}$ と δD の関係は傾きを 8 とする直線で近似されることが知られており、この δ ダイアグラムにおける y 切片の値 (d 値) は主に蒸発時に変化するとされています。d 値は世界規模でみると 10 の値をとるとされていますが、地域や季節等によって変化するとされています。
- ・駒鳥池、天鏡池の d 値は、大井川流域の各湧水と比べると小さい値となっていることなどから、池に溜まっていた水が蒸発していた可能性などが考えられます。

表 4.20 酸素・水素安定同位体比の計測結果

地点番号	地点名	採水時期	集水域の平均標高	採水標高	δD (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	d 値 (‰)
湧水1	清水屋の湧水	R2年7月	155m	91m	-42.20	-6.77	11.94
		R3年2月			-41.40	-6.81	13.08
湧水2	小長井の湧水	R2年7月	428m	301m	-49.78	-7.66	11.53
		R3年2月			-49.10	-7.70	12.50
湧水3	智満寺の湧水	R2年7月	402m	332m	-40.13	-6.72	13.61
		R3年2月			-39.20	-6.72	14.56
湧水4	奥大井の湧水	R2年7月	882m	810m	-57.12	-8.68	12.35
		R3年2月			-54.90	-8.57	13.66
湧水5	木賊付近の湧水	R2年7月	1,299m	1,212m	-78.85	-11.33	11.80
		R3年2月			-77.60	-11.40	13.60
湧水6	千枚小屋北側の湧水	R4年9月	2,683m	2,641m	-95.82	-13.88	15.25
湧水7	荒川小屋付近の湧水	R4年9月	2,887m	2,715m	-95.91	-13.81	14.57
湧水8	高山裏避難小屋付近の湧水	R4年9月	2,483m	2,370m	-88.21	-12.64	12.87
湧水9	池の平付近の湧水	R4年9月	1,854m	1,698m	-75.84	-11.13	13.17
池水1	駒鳥池	R4年9月		2,412m	-72.17	-10.31	10.35
池水2	天鏡池	R4年9月		2,682m	-70.97	-9.80	7.46

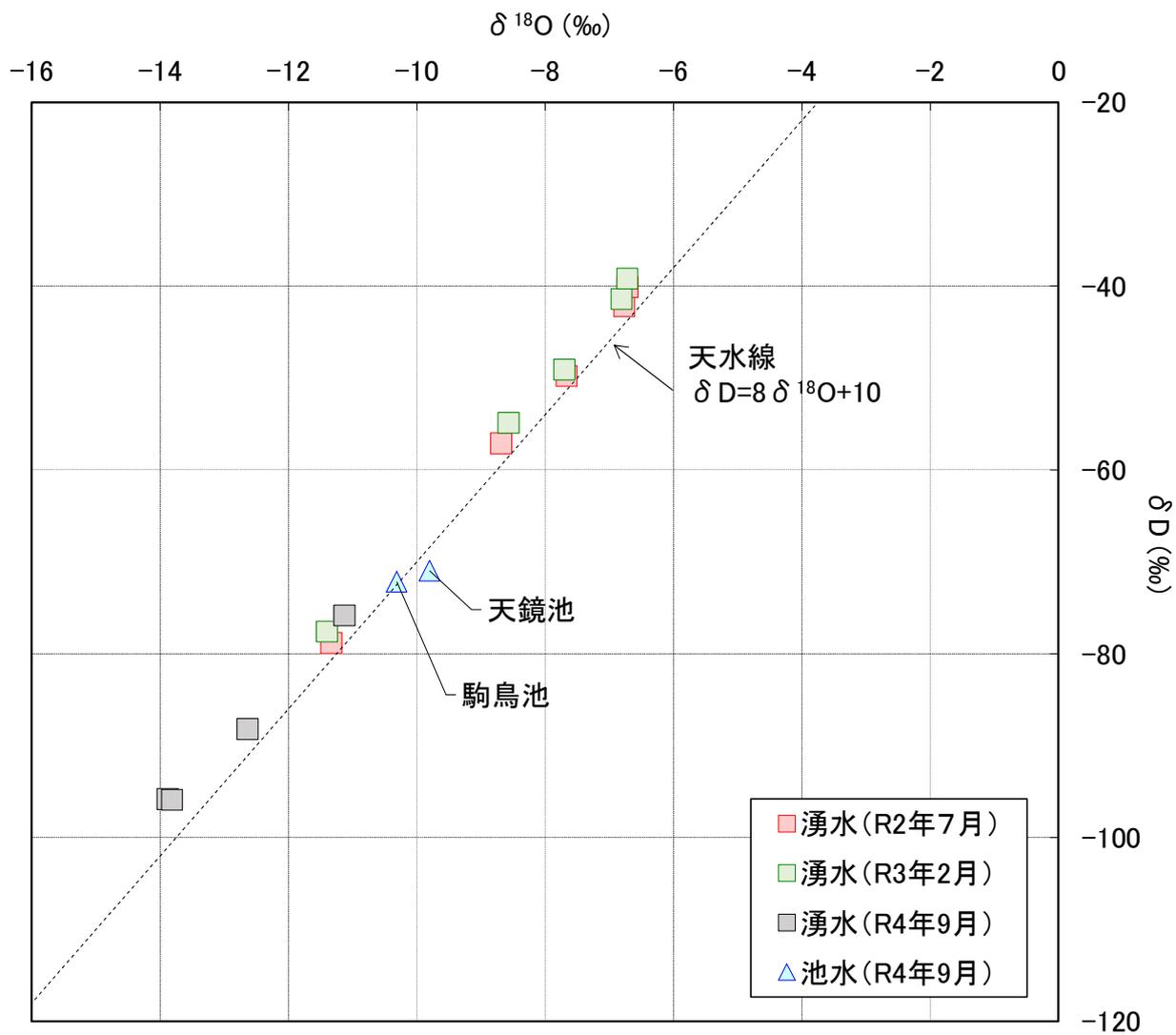


図 4.68 δ ダイアグラム

【参考資料2】千枚小屋周辺の地形等と湧水への影響について

- ・千枚小屋周辺の地形図及び周辺斜面の状況を図 4.69～図 4.71にお示します。
- ・図 4.16に示すとおり、千枚小屋付近では行ったボーリング調査の結果から GL-0.00m 0.55m で礫混じり粘土が確認されていますが、このような地層は斜面の表層が風化するとともに重力移動によるクリープが発生すること（マスマーブメント）によって形成されるものと考えられ¹⁴、斜面の多くの箇所で見られます。
- ・降雨がこの層にもたらされると、水分は鉛直方向に浸透するというよりも、重力に従って斜面方向に流下しますが、斜面の傾斜が変化したり、微細な谷のように水が集まりやすい地形（微地形学上、リルやガリーと呼ばれる地形）がある場合は、この層に過剰に含まれる水分が地表に湧出することが考えられ、今回調査を行った千枚小屋北側、千枚小屋南側の地点についてはこのような状況で水が湧出しているものと推測しています。

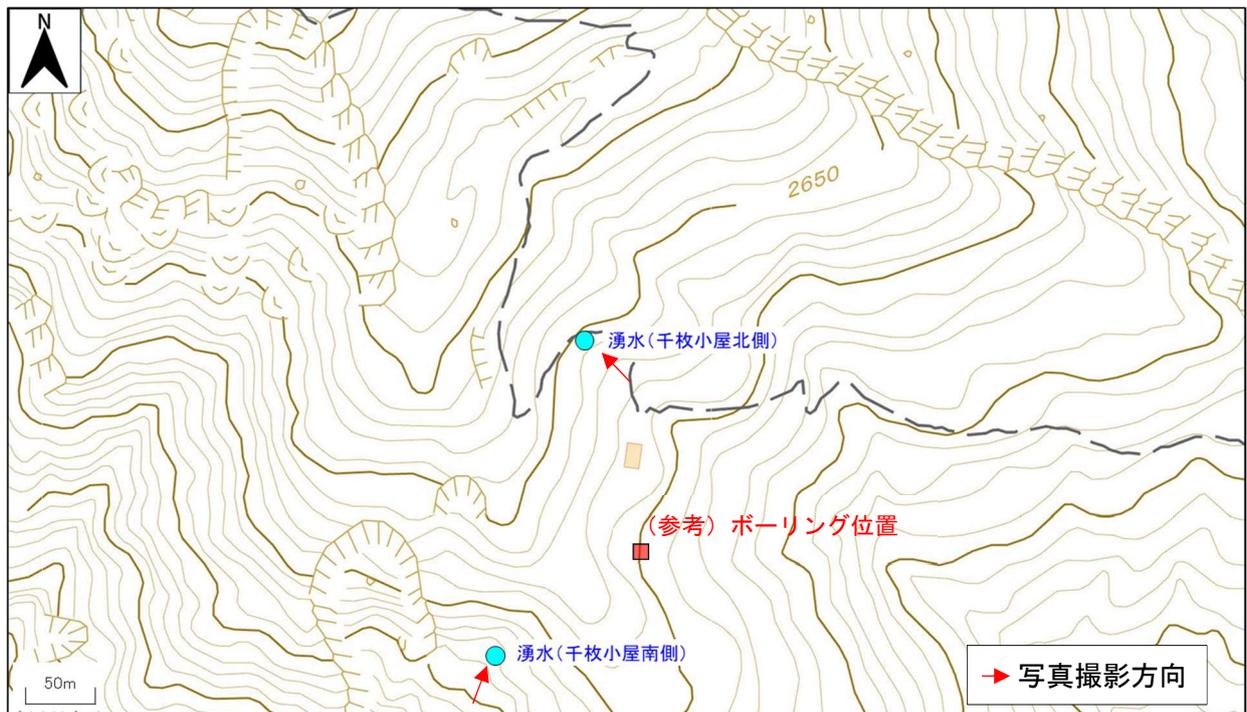


図 4.69 千枚小屋付近の地形図

¹⁴ 森林・水・土の保全 湿潤変動帯の水文地形学（塚本義則）、朝倉書店（1998年7月）21p～25p、39p～40p



図 4.70 湧水（千枚小屋北側の状況）



図 4.71 湧水（千枚小屋南側の状況）